Центральний науково-дослідний інститут
Збройних Сил України
Military Science. Vol. 2 No. 1 (2024)

DOI: 10.62524/msj.2024.2.1.15

Впровадження новітніх та проривних технологій як ключ до технологічної переваги у сучасній війні

Костянтин Кулагін
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
старший науковий співробітник
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
61023, вулиця Сумська, 77/79, Харків, Україна
e-mail: k.kulagin@ukr.net
ORCID:0000-0003-1189-5623

Іван Нос
кандидат технічних наук
начальник науково-дослідного відділу
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
61023, вулиця Сумська, 77/79, Харків, Україна
e-mail: 171a16@gmail.com
ORCID:0000-0003-1501-0503

Олексій Солонець
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
61023, вулиця Сумська, 77/79, Харків, Україна
e-mail: alex_solonez@ukr.net
ORCID:0000-0001-6223-5022

Костянтин Квіткін
науковий співробітник
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
61023, вулиця Сумська, 77/79, Харків, Україна
e-mail: kosta_kit@ukr.net
ORCID:0000-0002-8330-5023

Анотація. Актуальність даної статті обумовлена тим, що в умовах протистояння між суттєво різними за ресурсами, чисельністю та кількістю озброєнь країнами, військовий паритет та навіть перевага над противником досягаються шляхом застосування нестандартних асиметричних та гібридних дій із використанням інноваційних високотехнологічних систем озброєння, розвідки та управління. Пошук інноваційних підходів в управлінні військами, нових тактичних прийомів застосування як традиційних зразків озброєнь, так і нових, створених на нетрадиційних фізичних принципах, впровадження новітніх та проривних технологій є нагальною потребою розвитку оборонних спроможностей Збройних Сил України – ключем до технологічної переваги у сучасній війні.

Сьогодні, більшість розвинутих країн світу, зокрема країни-члени Організації північноатлантичного договору, приділяють значну увагу науковим дослідженням із розробки

та застосування новітніх та проривних технологій, прагнуть зберегти переваги в цій сфері шляхом генерування, обміну та застосування передових наукових знань, технологічних розробок та інновацій із залученням можливостей усіх країн-партнерів. Виходячи з цього, дослідження перспективних науково-технічних напрямків, що відповідають світовим технологічним трендам та сучасному рівню розвитку науки і техніки, і визначення потенціалу їх застосування у військовій справі є важливим науковим та практичним завданням, яке потребує вирішення. Провідним підходом для вирішення цього проблемного питання є використання результатів аналізу наукових видань, звітів провідних наукових організацій та міжнародних безпекових установ, застосування статистичних методів наукометричного та патентного аналізу для дослідження глобальних технологічних та наукових трендів, оцінки рівня уваги (зацікавленості) тих, чи інших науково-технічних спільнот, оборонних компаній та окремих країн світу. На основі ґрунтовного аналізу цих даних будується структурований перелік основних груп новітніх технологій, які можуть мати революційний вплив на оборонні спроможності держави. Це дозволяє комплексно розглянути перспективні напрямки науково-технічної діяльності та сконцентрувати зусилля на найбільш проривних, в майбутньому потенційно критичних для держави технологіях.
В статті приведені результати системного аналізу існуючих наукових та технологічних трендів, найбільш вагомих новітніх та проривних технологій, а також оцінки їх впливу на сферу безпеки і оборони. Запропоновано певний авторський погляд на можливості застосування таких технологій та показано, що новітні та проривні технології не набувають повністю сформованої форми, а також не відокремлюються від військового оперативного середовища, в якому передбачається їх використання. Необхідні значні зусилля, експерименти та інновації, щоб перетворити ці технології на діючі військові спроможності, а це, в свою чергу, призведе до змін сил та засобів і форм збройної боротьби. Матеріали статті становлять практичну значущість для фахівців, які відповідають за формування напрямків наукової та науково-технічної діяльності, впровадження інновацій та новітніх технологій у діяльність оборонно-промислового комплексу, визначають пріоритети воєнно-технічної та оборонно-промислової політики держави.

Ключові слова: інновації, новітні та проривні технології, штучний інтелект, робототехнічні та автономні системи, новітні матеріали, оборонні спроможності.

Вступ (Introduction)

Наразі, людство стикнулося з небезпечним, непередбачуваним та нестабільним світом, що має нетрадиційні виклики та загрози, наприклад, асиметричні та гібридні війни, мілітаризація космосу, міжнародний тероризм, кіберзагрози, інформаційно-психологічні операції, зміни клімату та біозагрози. Здатність оперативно реагувати на поточні та майбутні виклики може бути покращена за рахунок активної та рушійної ролі новітніх та проривних технологій (Emerging and Disruptive Technologies, EDT), які можуть бути реалізовані протягом найближчих 10-20 років і матимуть значний вплив на економічні, соціально-політичні та, звичайно, на оборонні спроможності тих країн чи безпекових об'єднань країн, які своєчасно і правильно оцінять потенціал таких технологій та встигнуть зайняти лідерські позиції в їх практичному застосуванні.

Під новітньою (виникаючою) технологією будемо розуміти радикально нову інноваційну технологію, яка характеризується відносно швидким розвитком та певним ступенем узгодженості, що зберігається протягом тривалого часу, технічний та ціннісний потенціал якої значною мірою ще невизначений, неоднозначний та повною мірою не

реалізований, але оцінений як такий, що може значно впливати в майбутньому на соціально-економічну, військово-технічну та інші сфери життєдіяльності суспільства. Такі технології досягнуть зрілості та знайдуть реалізацію протягом 10-20 років, і, на сьогоднішній день, вони широко не використовуються або їх вплив на оборону, безпеку та промисловість недостатньо проаналізований і до кінця незрозумілий. Під проривною технологією – відносно нову інноваційну технологію, ступінь розвитку якої дозволяє оцінити її технічний і ціннісний потенціал як однозначно здатний швидко і кардинально змінити існуючі норми і процеси у певних галузях життєдіяльності або у суспільстві в цілому, зруйнувати сталі бізнес-моделі, традиційні ринки і взаємовідносини між суб'єктами управління, інституціями та споживачами, різко витіснити старі технології, продукти чи послуги, долаючи технічні бар'єри, застосовуючи нові способи вирішення проблем та задоволення потреб, які раніше не були доступними або були недостатньо розвинені, суттєво знизити витрати, покращити продуктивність та підвищити доступність для більш широкої аудиторії, змінивши попит на товари і послуги та споживчі уподобання.

Новітні та проривні технології мають ряд узагальнених характеристик, що допомагає експертам їх своєчасно ідентифікувати та класифікувати, а саме: інноваційність, синергетичний потенціал, здатність до розвитку, вплив на майбутнє та здатність змінювати традиційні бізнес-моделі. Зазначені характеристики допомагають визначити новітні та проривні технології, зрозуміти їх майбутній потенціал та імовірний вплив на різні сфери.

Часто новітні та потенційно проривні технології представляють можливості для інтеграції як між собою, так із іншими існуючими сталими технологіями, що може призвести до створення більш складних і потужних технологічних рішень, які отримали назву конвергентні технології. Вони визначаються як інноваційні технології, які поєднують (комбінують) декілька технологій певним способом для створення синергетичного ефекту.

Новітні, проривні і конвергентні технології з часом можуть стати критичними для держави – технологіями, що потребують захисту та гарантованого збереження, мають принципове значення для сталого розвитку економіки, забезпечення економічної та національної безпеки і оборони держави, підтримання наявних та набуття нових оборонних спроможностей, створення високотехнологічної конкурентоспроможної енергоефективної і екологічно чистої продукції. Кожна країна, формуючи перелік критичних технологій, спирається на специфіку власних цілей, потреб, можливостей та амбіцій.

Драйвером впровадження EDT у військовій сфері є НАТО. В його структурі активно діє Організація НАТО з науки та технологій (NATO Science & Technology Organization, STO), створено декілька спеціалізованих органів, агенцій та робочих груп, зокрема Консультативно-дорадча група НАТО з новітніх та проривних технологій (NATO Advisory Group on Emerging and Disruptive Technologies, AGEDT), Рада НАТО з аналізу даних і штучного інтелекту (NATO's Data and Artificial Intelligence Review Board, DARB), Прискорювач (акселератор) оборонних інновацій для Північної Атлантики (Defense Innovation Accelerator for the North Atlantic, DIANA), які співпрацюють з державним і приватним оборонним сектором, з міжнародними організаціями, включаючи Європейський Союз (ЄС) та Організацію Об'єднаних Націй (ООН), академічними колами та громадським суспільством над розробкою, і головне, над впровадженням EDT, встановленням міжнародних принципів відповідального використання цих технологій.

EDT та інші інноваційні технології будуть використовуватися у військовій сфері, незалежно від того де і для чого вони спочатку створювались. У той же час вони можуть створювати абсолютно нові операційні сфери (наприклад, кіберпростір) або по новому

застосовувати традиційні. Швидкі зміни в технологічному ландшафті є рушійною силою Четвертої промислової революції "Індустрія 4.0" та військової революції сьомого покоління.

Розробником та ідеологом концепції Четвертої промислової революції вважається німецький економіст Клаус Шваб. Своє бачення сутності "Індустрії 4.0" він виклав у книгах "Четверта промислова революція" (2017) та "Технології Четвертої промислової революції" (2018). Головним технологічним драйвером цієї революції вважаються проривні інновації (disruptive innovation) та їх синтез у трьох основних сферах: фізичній, цифровій і біологічній. І саме це, на думку автора визначає фундаментальну відмінність Четвертої промислової революції від всіх попередніх промислових революцій. Здатність інноваційних технологій до прориву (критичної зміни) сталих технологій вперше була розглянута Клейтоном Крістенсеном в книзі "Дилема інноватора: Як через нові технології гинуть сильні компанії" (2004), а головним каталізатором змін споживчих цінностей на ринку та сталих бізнес-процесів були визначені проривні інновації та відповідні проривні інноваційні технології.

Останні роки фахівці з різних галузей досліджували сутність та перспективи новітніх та проривних технологій. Зокрема, в (Rotolo, Hicks, Martin, 2015) детально розглянуті термінологічні аспекти, в (Küfeoğlu, 2022) розкрита сутність та принципи організації найбільш відомих на цей час новітніх технологій, в (Mariette, Bernard, Meyerson, 2023) проаналізовані топ-10 новітніх технологій 2023 року та розглянута методологія оцінки їх впливу на суспільство та економіку. В роботі (Armstrong, 2017) розглянуті різні концепції, методології, інструменти та сфери застосування проривних технологій, в (Manners-Bell, Lyon, 2022) особливості застосування проривних технологій в сфері логістики та управлінні ланцюгами постачань, в (Слюсар, Сотник, Купчин, 2020) запропоновано дефініцію критичних та проривних технологій, а також підхід щодо їх структурування, а також концептуальний підхід до структурування найбільш важливих для сектору оборони держави критичних та проривних технологій із застосуванням моделі прийняття рішення методами нечіткої логіки. Аспектам відбору та застосування критичних технологій в оборонній сфері присвячені роботи (Слюсар, Сотник, Купчин, 2020), (Сотник, Расстригін, Купчин, 2020), а дослідженню потенціалу і можливостям впровадження в Україні конвергентних технологій робота (Матюшенко, 2016). В деяких публікаціях наведені результати застосування статистичних методів наукометричного та патентного аналізу для дослідження глобальних технологічних та наукових трендів (Писаренко, Кваша, 2021), оцінки рівня уваги науково-технічних спільнот, оборонних компаній та окремих країн світу у нових, проривних та критичних технологіях (Писаренко, Кваша, 2020).

Безумовно найбільш вагомим джерелом для аналізу EDT є підготовлені Організацією НАТО з науки та технологій (NATO Science & Technology Organization, STO) у 2020 році звіт "Science & Technology Trends 2020-2040" (Reding, Eaton, 2020) та у 2023 році звіт "Science & Technology Trends 2023-2043. Across the Physical, Biological, and Information Domains" у двох частинах (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023), в яких експертами НАТО визначені основні стратегічні пріоритети у сфері розвитку ОВТ, що мають базуватися на десяти тісно взаємопов'язаних EDT, які вважаються головними стратегічними руйнівниками протягом наступних 20 років. Іншими важливими документами є два підготовлені AGEDT звіти, з порадами щодо оптимізації їх інноваційних зусиль. В першому (Chana, 2020), який був опублікований у березні 2021, були надані чотири основні початкові поради для НАТО: покращити технологічну грамотність, створити ефективну мережу інноваційних центрів; розробити та сприяти створенню нових механізмів фінансування інновацій за участю суб'єктів приватного сектору, створювати інноваційні партнерські ініціативи із зовнішніми зацікавленими сторонами. У своєму другому щорічному звіті (Chana, 2021), опублікованому в

квітні 2022 року, група розглянула три найважливіші поточні напрямки роботи, спрямовані на те, щоб НАТО та члени Альянсу могли швидко впроваджувати нові технології та підтримувати технологічну перевагу в рамках проєкту DIANA, Інноваційного фонду НАТО та Інноваційної політики людського капіталу (Human Capital Innovation Policy), яка містить рекомендації для НАТО щодо залучення, утримання та розвитку талановитих працівників з технічними навичками та інноваційним мисленням. З червня 2020 року Україна, як партнер НАТО з розширеними можливостями має можливість приймати участь у майже всіх ініціативах та дослідженнях, що проводять робочі групи, організації і агенції НАТО.

Аналіз публікацій показує різке зростання зацікавленості науковців та керівників оборонних програм (проєктів) в інструментарії ідентифікації EDT та оцінки (прогнозування) результатів їх впровадження як з позитивної сторони, так і з урахуванням негативних ризиків від їх застосування. Більшість публікацій присвячено економічним, транспортно-логістичним, інформаційним, технічним та екологічним аспектам, і лише незначна частка робіт оборонно-технічним, що обумовлює актуальність даного дослідження.

Тому, метою даної статті є визначення сутності EDT та потенціалу їх застосування для набуття нових оборонних спроможностей в контексті війни із російською федерацією та ймовірних майбутніх гібридних та асиметричних війн, систематизація визначених технологічних трендів, акцентування уваги наукової спільноти на необхідності пришвидшеного аналізу потенційних технологічних переваг, що можуть надати EDT, особливо в секторі безпеки і оборони держави, розширення дискусії навколо нагальних технологічних потреб для набуття необхідного для перемоги військово-технологічного потенціалу.

Методологічна основа (Methodological Framework)

Відповідно до результатів досліджень (Reding, Eaton, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023), (Chana, 2020), (Chana, 2021), проведених експертами НАТО, вважається, що до 2043 року чотири головні характеристики будуть визначати появу і реалізацію новітніх та проривних технологій у військовій сфері:

інтелектуальність (забезпечується використанням симбіотичного штучного інтелекту, його інтеграцією на усіх рівнях із використанням технологій машинного навчання та аналітики великих обсягів структурованих та неструктурованих даних);

взаємопов’язаність (забезпечується використанням розподіленої мережі первинних джерел інформації (віртуальних і фізичних) за допомогою нових методів шифрування та технологій розподіленого реєстру (Distributed Ledger Technology, DLT));

розподіленість (забезпечується широкомасштабним децентралізованим та повсюдним застосуванням різних сенсорів та датчиків, збором та обробкою великих масивів даних);

цифровізація (забезпечується цифровим поєднанням людської, фізичної та інформаційної областей для створення нових проривних ефектів).

Впровадження EDT має забезпечити реалізацію п’яти основних імперативів Ключової концепції НАТО з ведення бойових дій “NATO Warfighting Capstone Concept (NWCC)” (2023): когнітивну перевагу, багаторівневу стійкість, постійний вплив і демонстрацію могутності, міждоменне командування і управління та інтегровану багатошарову оборону у п’яти операційних середовищах (доменах), включаючи космос і кіберпростір.

Станом на кінець 2023 року експертами НАТО визначено 10 основних груп новітніх та проривних технологій:

1) технології обробки та розширеної аналітики великих масивів даних (Big Data and Advanced Analytics, BDAA) та інформаційні і комунікаційні технології (Information & Communication Technologies, ICT));

2) технології штучного інтелекту (Artificial Intelligence, AI);

3) робототехнічні та автономні системи (Robotics & Autonomous Systems, RAS);

4) космічні технології (Space Technologies, ST);

5) гіперзвукові технології (Hypersonic Technologies, HT);

6) квантові технології (Quantum Technologies, QT);

7) біотехнології та технології вдосконалення людини (Biotechnology & Human Enhancement Technologies, BHET);

8) новітні матеріали та передове виробництво (Novel Materials & Advanced Manufacturing);

9) енергетика та новітні енергетичні силові установки (Energy & Propulsion);

10) електронні та електромагнітні технології (Electronic & Electromagnetic, E&EM).

Основними визначальними характеристиками зазначених технологій є: симбіоз людини і штучного інтелекту, взаємопов'язаність (поєднання) віртуального та фізичного вимірів, розподілене зберігання та обробка великих масивів даних, глобальна цифровізація фізичного, людського та інформаційного просторів.

Технологічні розробки в області штучного інтелекту, автономії, космосу, деяких сферах великих даних, енергетики, електротехніки та електромагнітних ефектів експертами НАТО вважаються переважно (але не виключно) руйнівними за своєю природою, оскільки розробки в цих сферах ґрунтуються на довгій історії підтримки науково-технологічного розвитку. Діяльність у цих сферах зосереджена навколо їх ефективного впровадження та впливу на інші технології. Таким чином, значне або революційне порушення військового потенціалу або вже триває, або матиме значний ефект протягом наступних 5-10 років. Нові розробки щодо квантових технологій, біотехнологій, створенні матеріалів із новими властивостями та деяких аспектів аналітики даних (наприклад, мережі зв'язку нового покоління типу 6G), оцінюються як новітні (виникаючі) технології, оскільки попередні цикли розвитку значно вплинули на попередні технологічні революції. Вони потребуватимуть значно більше часу на розробку (10-20 років), перш ніж їх руйнівна природа буде повністю реалізована у певний технологічний або військовий потенціал.

Результати і обговорення (Results and Discussions)

Проведемо більш детальний аналіз основних 10 груп новітніх та проривних технологій.

Група технологій "BDAA & ICT" надає передові аналітичні інструменти для аналізу даних, які є значними за обсягом, різноманітністю, структурованістю, достовірністю, оперативністю та візуалізацією, а пришвидшена цифровізація, розповсюдження нових датчиків, нові режими спілкування, технології розумних речей та віртуалізація соціально-когнітивних просторів значною мірою сприяють розвитку розширеної аналітики великих розподілених масивів даних. Найбільш відомими новітніми технологіями обробки великих масивів даних (Reding, Eaton, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023) є: Advanced Computing & Methods (технології розширеного обчислення та методи високопродуктивних обчислень); Novel Applications & Decision Making (нові програмно-алгоритмічні додатки для підтримки прийняття рішень із покращеними інтерфейсом та візуалізацією та методи багатокритеріального групового прийняття рішення); Distributed Ledger Technologies (технології розподіленого реєстру, які забезпечують одночасний доступ, перевірку та оновлення записів у мережевій базі даних); Advanced Networks (розширені відмовостійкі та кіберстійкі мережі передачі даних, що

об’єднують в єдину мережу канали супутникового, стільникового, дротового та бездротового зв’язку); Networked Sensors & Sensing (технології сенсорних мереж та мережевого зондування, які дозволяють збирати та аналізувати інформацію з підключених до мережі різних традиційних і новітніх датчиків у всіх операційних середовищах); Data Storage (нові технології збереження даних); Cyber & Cyberphysical Systems (технології кіберстійкості та кіберзахисту).

Впровадження технологій BDAA дасть змогу підвищити ефективність роботи військових структур, зменшити витрати, покращити логістичне забезпечення, моніторинг ресурсів у реальному часі та прогнозовані оцінки планів та програм. У той же час, це буде генерувати значно більшу ситуаційну обізнаність на стратегічному, оперативному, тактичному та оборонно-промисловому рівнях.

Слід зазначити, що для оперування великими даними та ефективного їх застосування необхідно застосовувати більш швидкі, надійні та розподілені мережі зв’язку та передачі даних нового покоління. В цьому напрямку інноваційної діяльності, все більшої актуальності набуває розвиток мобільних мереж широкосмугового зв’язку, які дозволяють безперервно підтримувати зв’язок і функції бойового управління під час високошвидкісних маневрених бойових дій на широких театрах військових дій. Необхідний високоефективний і безпечний військовий зв’язок можуть забезпечити новітні комерційні мобільні технології п’ятого (5G) та шостого покоління (6G), які продовжують стрімко розвиватися завдяки вдосконаленим технологіям і новим моделям стільникового зв’язку (Keller, 2020). Ключові досягнення в порівнянні з попередніми поколіннями включають багатоінтерфейсний доступ, розширення спектру, мережеве програмне забезпечення на основі віртуалізації мережевих функцій (Network Function Virtualization, NFV), програмної визначеності мережі (Software-Defined Networking, SDN) та функції Інтернету речей (Internet of Things, IoT).

Впровадження технології військового зв’язку наступного покоління забезпечить: високопродуктивну мобільність, гнучкість та адаптивність, безпеку даних, когнітивну керованість пропускною здатністю, частотою та швидкістю передачі інформації, щоб забезпечити надійний та безперебійний зв’язок у перевантажених і складних електромагнітних середовищах, невразливість до глушіння, атак на волоконно-оптичні кабелі та супутникові канали зв’язку, стійкість до кібератак на програмне забезпечення радіостанцій та до електромагнітних імпульсів, викликаних електромагнітними боєприпасами або ядерним вибухом на великій висоті. Для забезпечення високих оборонних спроможностей системи військового зв’язку мають становитися меншими, легшими, охоплювати декілька робочих діапазонів радіохвиль і бути здатними передавати будь які дані, включаючи геопросторові та відеодані.

Група технологій “BDAA & ICT” є базовою групою технологій для всіх EDT і має центральне значення щодо їх використання для розвитку військових операційних спроможностей, які мають визначатися в процесі оборонного планування (Слюсар, Кулагін, 2019). Але, найбільший синергетичний ефект отримується завдяки поєднанню зазначених цифрових технологій із інтелектуальними технологіями, зокрема штучним інтелектом.

Група технологій “Artificial Intelligence (AI)” – технології, які надають створеним людиною інтелектуальним системам (машинам), здатність діяти і виконувати завдання у фізичному або цифровому середовищі, які зазвичай вимагають людського інтелекту (наприклад, розпізнавати закономірності, вчитися на досвіді, робити висновки, робити прогнози або вживати заходів), враховуючи складну мету і обираючи найкращі дії (відповідно до заздалегідь визначених параметрів та алгоритмів), та які необхідно виконати для досягнення поставленої мети на основі сприйняття свого операційного середовища, інтерпретації зібраних структурованих або неструктурованих даних, обґрунтування знань,

отриманих з цих даних, аналізу та вибору можливих стратегій дій, які можуть спиратися на навчання або адаптацію до навколишнього середовища (Reding, Eaton, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023). AI називають найвпливовішою технологією з коли-небудь винайдених, і очікується, що він відіграє значну руйнівну роль у сфері оборони та безпеки.

Існує два узагальнені типи штучного інтелекту: "слабкий" або вузький штучний інтелект (Artificial Narrow Intelligence, ANI) та "сильний", який складається із загального штучного інтелекту (Artificial General Intelligence, AGI) і штучного суперінтелекту (Artificial Super Intelligence, ASI). ANI різновид штучного інтелекту для вирішення певної спеціалізованої групи завдань, який приймає рішення тільки на основі обмежених даних, використаних для його навчання. Прикладом таких систем є: системи обробки природної мови (Natural Language Processing, NLP), системи розпізнавання об'єктів або облич людини, чат-боти, розмовні або рекомендаційні помічники, потужні лексикографічні системи, програми для машинного перекладу та електронні словники, моделі прогнозного технічного обслуговування (Predictive Maintenance, PdM), спеціалізовані автономні платформи тощо. AGI може вчитися та розмірковувати базуючись на минулому досвіді, вирішувати проблеми і спілкуватися імітуючи узагальнену інтелектуальну поведінку на рівні людини. Крім того, він може спланувати будь-яке завдання. ASI є типом штучного інтелекту, який, як очікується, перевищить інтелект і здібності людського мозку.

В основі штучного інтелекту лежать технології машинного навчання (Machine Learning, ML) та глибокого навчання (Deep Learning). ML – різновид штучного інтелекту, який використовує великі дані та статистичні методи їх обробки, здатний перекодовувати себе відповідно до постійно зростаючих нових даних. DL – підклас алгоритмів машинного навчання на основі штучних нейронних мереж (наприклад, згорткових (Convolutional Neural Networks, CNN), рекурентних (Recurrent Neural Networks, RNN), залишкових (Residual Neural Network, ResNet), кватерніонних (Quaternion-Valued Neural Networks, QVNN), з довготривалою короткочасною пам'яттю (Long Short-Term Memory, LSTM), як алгоритмічних, так і біологічних (Disentangling AI, Machine Learning, and Deep Learning, 2021), та використовує багатошарову систему фільтрів для ієрархічного вилучення корисних ознак.

Спільне використання технологій BDAA & ICT та AI, за думкою експертів НАТО (Reding, Eaton, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023) має потенціал для революційного впливу на операції та військові спроможності Альянсу. Інтеграція AI в бойові моделі та симуляцію, системи управління та підтримки прийняття рішень, системи кіберзахисту та автономні транспортні та бойові платформи дозволять зробити процес прийняття оптимального рішення швидким і більш ефективним та ресурсозберігаючим. AI також матиме вагомий вплив на проведення фундаментальних наукових та науково-технічних досліджень, забезпечить нові інноваційні відкриття, виявить зони перспективних досліджень та зможе надати вдосконалені науково-технічні інструменти для підтримки подальших досліджень в інтересах безпеки і оборони.

Виклики щодо етичних та моральних аспектів застосування AI, воєнно-політичних домовленостей, законодавства та взаємосумісності стають серйозними викликами для суспільства та вимагатимуть створення AI-підходів з особливим акцентом на роз'ясненні, довірі та співпраці. Це особливо потрібно в контексті військових операцій (місій), щоб визначити процеси та стандарти для перевірки, підтвердження та акредитації таких систем.

Завдяки прогресу в області BDAA & ICT та AI, за останні 20 років відбувся значний поштовх до використання системної автономності в різних фізичних і віртуальних середовищах. Автономність (Autonomy) – здатність системи реагувати на невизначені ситуації шляхом незалежного формування та вибору різних варіантів дій для досягнення цілей на основі знань і

контекстуального розуміння світу, себе та ситуації. Автономія характеризується ступенями самоспрямованої поведінки (рівнями автономії), які варіюються від повністю ручного до повністю автономного. Автономність відноситься до спектру автоматизації, у якому незалежне прийняття рішень може бути пристосовано до конкретної місії, рівня ризику та ступеня об'єднання людей і машин (Robotic and Autonomous Systems in a Military Context, 2021).

Група технологій "RAS" – технології створення та застосування робототехнічних та автономних систем. Robotics Systems (робототехнічні системи) – сукупність інформаційно-сенсорних, комунікаційних, керуючих мікроконтролерних та механічних виконавчих пристроїв (систем) та джерел живлення, спільно і упорядковано функціонуючих під управлінням людиною, комп'ютером, штучним інтелектом або спільно, з метою виконання заданої операції, процесу або набору дій. Autonomous Systems (автономні системи) – системи, здатні збирати інформацію про оточуюче середовище та відслідковувати поточний стан та місцеположення, отримувати з розрізнених датчиків та сенсорів дані, їх аналізувати та сприймати, виробляти найбільш ефективні стратегії поведінки та виконувати функціональні завдання за призначенням у змінному операційному середовищі протягом тривалого часу без контролю або втручання людини. Крім того, сучасні RAS обладнуються апаратурою позиціонування за даними супутникових радіонавігаційних систем типу GPS/Galileo/Beidou, апаратурою виявлення світла та визначення дальності (LIDAR), апаратурою виявлення та визначення дальності за радіосигналами (RADAR), а також відеокамерами та/або тепловізорами інтегрованими з цими компонентами.

Окремим класом RAS є летальна автономна система зброї (Lethal Autonomous Weapon System, LAWS), яка без втручання людини вибирає та вражає цілі, які відповідають певним заздалегідь визначеним критеріям, після рішення людини розгорнути зброю з розумінням того, що напад, після того як він розпочати, не може бути зупинений втручанням людини (Robotic and Autonomous Systems in a Military Context, 2021).

Кінцевою метою інтеграції робототехнічних та автономних систем у військову діяльність є бажання об'єднати людину та RAS у потужну злагоджену команду, дозволяючи RAS виконувати нудні, брудні, небезпечні та дорогі завдання, в той же час використовуючи унікальні таланти, досвід та інтуїцію людини.

Сфери розвитку RAS експертами НАТО згруповані в чотири широкі сфери (Reding, Eaton, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023): Advanced RAS (передові RAS), RAS Application (комплексні рішення з використанням RAS), Counter-RAS (протидія ворожим RAS) та RAS Man-Machine Teaming (об'єднання в робочу команду людини та робототехнічних і автономних систем).

Широке впровадження RAS, особливо із штучним інтелектом, у військовій сфері створює значні моральні та етичні проблеми, але також відкриває нові можливості для підвищення ефективності, дієвості та гнучкості збройних сил за рахунок:

швидкості прийняття рішень і визначення пріоритетів загроз, набагато вищої ніж час реакції людини, що дозволяє значно скорочувати цикл спостереження, орієнтування, прийняття рішення та реалізації відповідних дій – цикл OODA (Observe, Orient, Decide, Act);

високої надійності і ефективності у виконанні конкретних завдань;

точності розпізнавання зображень та сенсорного сприйняття RAS, що перевищує рівень людських можливостей;

збільшеної дальності застосування та витривалості, здатності керованого "роїння" та самовідновлюваності структури "рою" у випадку виведення з ладу окремих елементів;

збільшення стійкості до погодно-кліматичних умов, забруднень, впливу навмисних та ненавмисних механічних та електромагнітних чинників, бойових уражаючих факторів;

здешевлення виробництва механічних, електронних та програмних компонентів та сервісних послуг, особливо за рахунок адитивного виробництва;

збільшення часу функціонування за призначенням (RAS може виконувати нудні та повторювані завдання моніторингу на високому рівні 24/7 без необхідності "відпочинку", логістичне планування може бути вирішено ефективно, і межі багатозадачності людини можуть бути швидко перевершені);

збільшення гнучкості та адаптивності RAS протягом життєвого циклу системи за рахунок масштабованості, розширення функціоналу, оновлення складових та програмного забезпечення, навчання і самовдосконалення AI тощо).

Робототехнічні та автономні системи представляють собою трансформацію сил та засобів у військовій сфері. Вони забезпечують значний військовий потенціал для розширення якості, охоплення, ефективності та безпеки військових операцій і змінюють форми і способи збройної боротьби у майбутніх війнах та конфліктах.

Група технологій "Space Technologies, ST" – технології, що розвиваються завдяки наукам, що досліджують космос, та космічним засобам, які створює аерокосмічна індустрія, а також обов'язково враховують унікальні та екстремальні характеристики навколоземного, середнього та дальнього космічного простору.

За останнє десятиліття значно зріс інтерес до використання космосу та космічних технологій у військових цілях, чому посприяли дві взаємопов'язані тенденції:

по-перше, за останні кілька років суттєво збільшилася доля комерційних космічних програм, приватні фінансові активи докорінно змінили напрямки і інтенсивність дослідження космосу та внесли свій внесок у зміни форм і способів збройної боротьби (наприклад, використання комерційного супутникового зв'язку Starlink (США), супутникових знімків від приватних американських компаній Maxar Technologies Ltd., Planet Lab та BlackSky Technology Inc., аргентинської Satellogic, іспанської Deimos Space та фінської ICEYE Збройними Силами України у війні проти російської федерації значно підвищили ситуаційну обізнаність та підтримку прийняття рішень). Крім того, світова комерційна космічна галузь продовжує лідирувати на шляху до різкого зниження витрат на запуск, нових варіантів розгортання космічних засобів і комерційної доступності високоякісної космічної інформації;

по-друге, нові технології та методи виробництва змінили характер, доступність і вартість використання простору (наприклад, нові варіанти силової установки, такі як передові електричні силові установки на сонячній енергії (Advanced Electric Propulsion System, AEPS) (Peterson, 2021), технології електромагнітного прискорення для переміщення корисних навантажень у космос (SpinLaunch) (Jeffrey, 2022), бортовий AI, вдосконалена робототехніка, дистанційне обслуговування супутників на орбіті, зменшення розміру, ваги, енергоспоживання і вартості (SWaP-C) систем, вдосконалені та нові датчики, 3D-друк, покращене накопичення енергії та ефективність, а також технології шифрування наступного покоління. У результаті космічний простір стає стратегічним драйвером технологічного розвитку та геостратегічної конкуренції.

У 2019 році міністрами закордонних справ країн-членів НАТО космос було визнано п'ятою оперативною сферою військової діяльності, в січні 2022 року була опублікувала Всеосяжна космічна політика НАТО (NATO's overarching Space Policy) (2022), а на Брюссельському саміті в 2021 році було визнано, що шкідлива діяльність у космосі може призвести до застосування статті 5 Північноатлантичного договору (Brunner, 2021). Тож, використання космосу в інтересах системи оперативного (бойового) командування та управління, зв'язку, комп'ютеризації – розвідки, спостереження та рекогносцювання (Command, Control, Communications, Computers – Intelligence, Surveillance, Reconnaissance,

C4ISR), а також навігації та оборони від загроз в космосі та з космосу є центральним моментом для багатьох існуючих оборонних спроможностей НАТО, і це основа, на якій НАТО будує технологічну перевагу до якої можуть залучитися і країни-партнери.

Отже, можливо впевнено очікувати збільшення кількості космічних програм, використання космічних технологій та обсягів даних, що отримуються з космосу, протягом наступних 20 років. У поєднанні з технологіями BDAA & ICT, AI та RAS, космічні технології можуть значно покращити ситуаційну обізнаність на всіх рівнях, космічну підтримку операцій, захист космічної військової та комерційної інфраструктури, надійну протиракетну і протикосмічну оборону, операційну ефективність військових та гуманітарних місій по всьому світу. Але, питання стійкості космічних засобів та систем становляться не менш актуальним, ніж переваги, що надають такі системи.

Група технологій "Hypersonic Technologies, HT" – технології, які дозволяють перспективним гіперзвуковим системам зброї (Hypersonic Weapons Systems (HWS) (ракетам, глайдерам, літакам, крилатим ракетам, маневруючим бойовим блокам) розвивати та підтримувати швидкість руху понад 5 Махів (6125 км/год) в атмосфері Землі або на її межі, та здійснювати маневри на такій швидкості. Ці системи є особливо стратегічно руйнівними, враховуючи скорочений час реакції, доступний для узагальненої оцінки тактичного попередження/атаки (Integrated Tactical Warning/Attack Assessment, ITWAA), маневреність, скорочений час польоту до цілі, труднощі з розробкою контрзаходів і загрозу, яку вони становлять для критичних цілей окремо або масово (Reding, Eaton, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023). Системи подібного походження можуть покладатись як лише на кінетичний ефект застосування, так і на використання різних типів боєголовок, в тому числі і ядерних. Контрзаходи проти подібних гіперзвукових систем є особливо складними через їх швидкість, маневреність та висоту застосування.

Основними перевагами HWS є: обмежений час виявлення і попередження про застосування, за рахунок високої швидкості і специфічного профілю польоту гіперзвукової зброї; швидке реагування на потребу швидкого досягнення та гарантованого ураження критичної цілі, особливо рухомої або той, що має тимчасову вразливість; висока здатність долати протиракетну оборону противника, за рахунок поєднання високої швидкості, маловисотності, маневреності та малопомітності; непередбачуваність для оцінки противником, за рахунок складності прогнозування траєкторії польоту та кінцевої точки націлювання, а також категорії бойового спорядження. Основними викликами в проектуванні HWS є підбір матеріалів, які б витримували надзвичайні навантаження та температуру, а також систем управління, здатних працювати в екстремальних умовах, зокрема через плазму, яка створюється навколо об'єкту, що рухається на гіперзвуковій швидкості крізь щільні шари атмосфери та ізолює літальний апарат від сигналів ззовні. Однак, нові матеріали, удосконалене моделювання та симуляція, а також більш ефективні рухові пристрої (реактивні двигуни) сприяли певним технологічним проривам у гіперзвукових дослідженнях і значно підвищили ймовірність їх широкого оперативного використання (Tirpak, 2018).

Наразі, КНР, рф, США, Великобританія, Франція, Індія, Іран, Японія та Австралія відкрито визнали дослідження, випробування та експериментальне використання гіперзвукових систем (Reding, Eaton, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023), (Speier, Nacouzi, Lee, Moore, 2017), (Mizokami, 2019), (Bernstein, Hancock, 2021), (Гіперзвукова зброя, 2024), а Збройні Сили України вперше знищили сучасні російські гіперзвукові ракети Х-47М2 "Кинжал" та 3М22 "Циркон" зенітним ракетним комплексом MIM-104 Patriot під час їх бойового застосування по столиці України у 2022-2024 роках (Lendon, 2024).

Група технологій "Quantum Technologies, QT" – технології, що використовують квантову

фізику та пов'язані з нею явища на атомному та субатомному рівнях, зокрема квантову заплутаність і суперпозицію (Reding, Eaton, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023), (Amerongen, 2021), (Krelina, 2021). Ці ефекти підтримують значні технологічні досягнення насамперед у криптографії і системах нерозривного шифрування, квантових обчисленнях, забезпеченні точної навігації та синхронізації часу, зондуванні із використанням надчутливих датчиків та складної візуалізації, комунікації та створенні нових матеріалів. Квантові явища лежать в основі сучасних технологій, включаючи транзистор, ядерну енергію, електронні мікроскопи, надпровідність, фотоелектричні детектори, медичну візуалізацію (функціональний магнітний резонанс і позитронно-емісійну візуалізацію), лазери та твердотільні пристрої. Такі технології використовують правила квантової поведінки матерії в атомному масштабі (менше 10 нм), стійке шифрування та зв'язок та досі неможливі рівні обчислювальної потужності (для деяких класів задач).

Квантові технології можливо згрупувати у п'ять основних груп, що перетинаються:

квантові обчислення (Quantum computing) – тип обчислень, що діє не за стандартними математичними алгоритмами, а використовує переваги квантових механічних явищ, таких як суперпозиція, квантова заплутаність та інтерференція (Amerongen, 2021), (Krelina, 2021);

квантовий зв'язок (Quantum communication) – зв'язок, що використовує субатомні частки, наприклад, фотони, для передачі даних з використанням принципів квантової механіки, забезпечує використання захищених або криптографічних методів зв'язку з використанням квантових властивостей, квантовий розподіл ключів (Quantum Key Distribution, QKD) та постквантова криптографія (Post-Quantum Cryptography, PQC) (2023). Квантовий Інтернет також можна вважати частиною цієї галузі досліджень, визначеної як (теоретична) мережа, побудована через заплутані квантові комунікаційні мережі та комп'ютери;

квантове зондування та метрологія (Quantum sensing & Metrology) – галузь знань, щодо використання квантових систем, квантових властивостей або явищ для вимірювання фізичних величин із високою точністю (Reding, Eaton, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023), (Krelina, 2021). Наприклад, вимірювання магнітних або гравітаційних полів з використанням технологій квантового зондування використовується для точного позиціонування, навігації та синхронізації шкали часу в інерційних системах високоточної навігації в бойових платформах де використання глобальних систем супутникової навігації типу GPS неможливо або утруднено;

квантові матеріали – матеріали, властивості яких можна пояснити лише з посиланням на квантові явища. Двовимірні матеріали, такі як графен або графін, часто називають квантовими матеріалами, як і квантові топологічні матеріали, електронні структури яких відрізняються (і значно складніші), ніж у металів або ізоляторів.

квантова оптика – технології застосування квантової механіки для розуміння та використання взаємодії світла з матерією. Це стосується різноманітних застосувань, таких як інтерферометрія, фотоніка, квантові обчислення, зв'язок, зондування тощо.

Сьогодні, три групи квантових технологій вже розглядаються військовими експертами, як такі, що мають потенціал для революційного впливу на військові операції (Reding, Eaton, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023).

Перш за все, це квантові сенсори. Використання надчутливих гравіметричних, магнітних або акустичних датчиків значно підвищить ефективність можливостей підводної війни, потенційно зробивши океани прозорими (Roblin, 2019). Квантовий радар (O'Donnel, 2019) може зробити стелс-технології застарілими, забезпечити точнішу ідентифікацію цілей і дозволити приховане виявлення та спостереження. Точні годинники дозволять розробити (точні) системи PNT для використання в недоступних для GPS місцях (наприклад, під льодом).

По-друге, це квантові обчислення, потенційно найбільш руйнівні квантові технології з усіх, які можуть зробити життєздатними класичні обчислювальні завдання, які раніше були недосяжними, у таких сферах, як оптимізація, BDAA&ICT, AI, а також моделювання та тестування. Ця обчислювальна перевага може значно підвищити прийняття рішень та оперативну ефективність будь-яких збройних сил, а також уперше зробити найнадійніші сучасні методи шифрування та зашифровані дані можливими для злому та викрадення.

По-третє, це технології квантових комунікації та криптографії використовують для створення надзахищених комунікацій із високим ступенем виявлення вторгнень і низькою ймовірністю перехоплення. Досягнення квантових комунікацій вважаються суттєво важливими для розробки ефективних технологій бездротового зв'язку нового покоління типу 6G.

Хоча нові квантові технології мають потенціал для революційного впливу на військові операції (місії), більшість з них все ще знаходяться на ранніх стадіях розробки, і до розробки реальних оперативних систем, ще потрібно вирішити значні технічні проблеми.

Групу технологій "BHET" складають біотехнологіїї, що використовують організми, тканини, клітини або молекулярні компоненти, отримані з живих істот для впливу на живі істоти або діють на роботу клітин чи молекулярних компонентів клітин, включаючи їх генетичний матеріал, та технології удосконалення людини, що застосовують біомедичні втручання в людський організм, які покращують фізичну форму чи когнітивні, фізіологічні, сенсорні або соціальні функції людини понад базові показники. Ці технології охоплюють спектр біологічних технологій таких, як: генетичні маніпуляції (наприклад, CRISPR) для розвитку нових патогенів або медичних контрзаходів, методи виробництва з використанням біологічних процесів, технології удосконалення людини за допомогою інтегрованої робототехніки (наприклад, екзоскелети, штучні кінцівки або внутрішні органи), нейроінтерфейси, технології поліпшення зору, соціально-технічний симбіоз із AI та RAS, фармакологічні підходи до когнітивного та фізичного покращення, посилення віртуалізації соціально-когнітивного середовища, що підтримує розвиток нових соціальних, інформаційних та організаційних структур, нові біосенсори та біоінформатика для покращення нашого розуміння соціально-когнітивної, фізіологічної, економічної та неврологічної поведінки.

Експертами НАТО проривні напрями дослідження BHET-технологій згруповані у вісім груп (Reding, Eaton, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023), (Ladisch, 2001):

Biowarfare and Heath (біологічна війна та здоров'я військовослужбовців) – технології для ідентифікації патогенів, уповільнення або зупинки патофізіологічних процесів біоагентів, створення нових класів лікарських засобів, засобів для випередження та запобігання захворюванням, засобів біометрії, догляду за ранами та регенерації тканин.

Genetics and Microbiology (генетика і мікробіологія) – технології редагування генів і засобів пом'якшення випадкового або навмисного неправильного використання редагування генів, розробки персоналізованих ліків і лікувальних/профілактичних методів лікування захворювань військовослужбовців, а також відкриття медичних і біотехнологічних застосувань на основі геному.

Bioengineering (біоінженерія) – технології, що застосовують інженерні принципи проектування та аналізу (з підтримкою AI/ML-технологій) до біологічних систем і біомедичних технологій, їх експлуатації (наприклад, біовиробництво) та вирішення проблем у взаємодії таких систем. Очікується, що протягом наступних двадцяти років біоінженерія стане значно простішою та дешевшою, завдяки новим розробкам, що зменшать витрати біотехнології на зчитування, запис і редагування генів. Крім того, нові дослідницькі зусилля вдосконалюють і розширюють здатність створювати складні багатоклітинні системи для покращених можливостей і функціональних матеріалів з інтегрованими біологічними

функціями. Це включає 3D-біодрук, біоінженерію з підтримкою AI/ML, гібридні матеріали, синтетичні біоміметичні матеріали, розумні матеріали та органоїди (“мозкові кульки”).

Systems Biology and Bioinformatics (системна біологія та біоінформатика) – технології, що досліджують складні біологічні системи шляхом великомасштабного кількісного аналізу динамічних взаємодій між кількома компонентами біологічної системи. Сфери особливого інтересу – нові хімічні, біологічні, радіологічні та ядерні біологічні датчики та быологычны обчисленняобчислювальна біологія.

Cognitive Enhancement (когнітивне покращення) – технології покращення когнітивних здібностей людини, моніторингу та маніпулювання нейронною активністю мозку для покращення когнітивної діяльності та неврологічної і психіатричної допомоги у військовій медицині, а також для створення нових методів і технологій для лікування травм головного мозку, нейродегенеративних захворювань і певних психічних захворювань, у тому числі лікування посттравматичного розладу.

Social Enhancement (соціальне покращення) – технології для дослідження соціальних мереж, аналізу, моделювання та імітації їх динаміки, а також відповідної соціальної поведінки людини, певних соціальних груп та суспільства в цілому. Дослідження ведуться у двох напрямках: прогнозування нових властивостей соціальних мереж і націлювання на соціальні наслідки, такі як дезінформація, когнітивні кампанії та кампанії гібридної війни та використання “віртуальної реальності” для розширення та покращення соціальної взаємодії.

Physical Performancet (фізична продуктивність) – технології для підвищення фізичної працездатності людини та ефективності окремих біологічних систем організму (наприклад, сили, витривалості, терпимості до болю чи втоми).

Human-Machine Symbiosis (симбіоз людини і машини) – технології для підвищення продуктивності людини за допомогою механічних або електронних засобів, використання штучного інтелекту, комп’ютерного зору, доповненої реальності та інтерфейсів людина-машина. Покращення SWaP-C-характеристик сприятиме використанню та кінцевому розвитку можливостей сенсорного та моторного розширення, таких як контактні лінзи віртуальної реальності чи екзоскелети.

Очікується, що BHET-технології стануть доступними протягом наступних 20 років. Найбільш проривними науково-технічними напрямами BHET, що мають представляти інтерес для військових, є: біоінформатика та біосенсори, використання генетичних модифікацій, фармакологічних агентів, електромеханічних пристроїв або неврологічних інтерфейсів для підвищення фізіологічних та неврологічних показників людини, медичні контрзаходи та технології, синтетична біологія тощо.

Група технологій “Novel Materials & Advanced Manufacturing” об’єднує технології створення штучних матеріалів з унікальними та новими властивостями, що можуть бути виготовлені з використанням методів нанотехнологій або синтетичної біології, а також технології, зосереджені на проектуванні, розробленні, монтажі та оптимізації виробничих процесів, необхідних для створення таких матеріалів і мікроелектроніки.

Сучасні досягнення в області BDAA, AI, ST, QT, BHET та нові відкриття в матеріалознавстві (наприклад, графену – одного з найтонших, наймічніших, найжорсткіших і більш розтяжних кристалічних матеріалів (The wonder material graphene may have found its killer app, 2022) значно вплинули на технологічну сферу створення надзвичайною термостійких, високоміцних матеріалів для бойових платформ, стелс-покриттів, або покриттів, здатних збирати і накопичувати енергію, надпровідних матеріалів, 2-D матеріалів і топологічних матеріалів. Цікаві дослідження проводяться щодо нових 2D-матеріалів (наприклад, графіну – багатошарової аллотропної модифікації вуглецю), нових полімерів,

наноматеріалів та мета матеріалів (Yiming, 2022). Нещодавно було виявлено вісім нових матеріалів, які мають структуру, подібну до графену (Reding, Eaton, 2020): антимонен, арсенен (одношарова зігнута стільникова структура миш'яку), вісмутин, борофан, борофен, фаграфен, фосфорен і станен. Інші подібні двовимірні матеріали, такі як феромагнітний трийодід хрому, дисульфід реніму, карбіди титану і дітеллурид молібдену, мають унікальні оптичні, феромагнітні, фізичні або електричні властивості. Полімерні матеріали є невід'ємною частиною сучасної економіки та армії. Існує кілька помітних напрямків досліджень (Young, 2021): створення складних топологічних структур, функціональних полімерних матеріалів, стійких матеріалів, біополімерів і полімерів, що самовідновлюються. Наноматеріали – нанорозмірні (одна мільярдна частина метра) матеріали, що демонструють унікальні оптичні, електронні, біологічні або механічні властивості. Двома критичними напрямами досліджень є (Hecht, 2022): біонаноматеріали та квантові точки.

Адитивне виробництво, яке часто використовується як синонім тривимірного друку (3D-printing) (Additive Manufacturing Research Group, 2018) – це процес створення майже довільного тривимірного твердого об'єкту з цифрової моделі шляхом пошарового додавання матеріалів. Адитивне виробництво можна використовувати для: швидкого прототипування; оперативного виробництва та ремонту в польових умовах, виробництва прецизійних, індивідуальних або унікальних деталей.

Удосконалені методи виробництва охоплюють багато технік, але дві з них заслуговують на особливу увагу через їх потенційно руйнівний вплив на військові спроможності: 3D/4D-друк і біовиробництво (відтворення біологічних структур за допомогою 3D-друку для оперативної допомоги пораненим та їх реабілітації). На відміну від 3D-друку, при 4D-друку матеріали трансформуються під впливом мінливих подразників навколишнього середовища, таких як тиск, тепло, pH, світло, вологість або температура. Такі матеріали є перспективними для нових конструкцій або датчиків, особливо в біомедичних додатках, таких як біомедичні роботи, тканинна інженерія або біоскаффолди (двох- або тришарові тканинно-клітинні структури, що вирощуються в особливих умовах "in vitro" на основі судинного каркасу (скаффолда), який виконує опорну функцію для нашаровування клітинних структур).

У той час як адитивні методи виробництва, такі як 3D/4D друк, продовжують розвиватися, досліджуються нові способи нано- та мікроскладання для синтезу, збору та створення матеріалів від атомного до макропродуктивного масштабу, які мають потенційне застосування в енергетиці, оптиці, електроніці, терапії та генній інженерії (Bechelany, 2022).

Технології створення нових матеріалів дозволяють значно посилити ефективність і стійкість бойових платформ, забезпечити нове більш потужне, надійне та безпечне екіпірування військовослужбовців, оснастити армію надсучасними компактними засобами комунікації, розвідки та навігації, забезпечити створення захисних покриттів та стелс-покриттів, матеріалів для космічних та гіперзвукових польотів, а технології адитивного виробництва дозволять організувати виготовлення унікальних деталей та конструкцій, оперативне відновлення та ремонт техніки в польових умовах, швидке виготовлення запасних частин і комплектуючих "під замовлення" за допомогою цифрових моделей, ефективне та надшвидке будівництво фортифікаційних та захисних споруд, наприклад, з екструдованого бетону чи полімерів, а також надати безумовно проривні можливості в галузі бойової біомедицини та біоміметики.

Група технологій "Energy & Propulsion" – технології створення нових способів генерації енергії та її зберігання, а також побудови ефективних силових агрегатів (двигунів).

Суспільно-політичний інтерес до боротьби з наслідками антропогенної зміни клімату, перехід до концепції "сталого економічного розвитку, активне впровадження "зелених"

енергетичних технологій, дослідження в галузі відновлюваної енергії, екологічно чистих двигунів, способів "чистої" генерації енергії становлять значний комерційний, суспільний та військовий інтерес. Зокрема, дослідження в інтересах оборони НАТО зосереджені на чотирьох сферах (Reding, Eaton, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023): створення нових акумуляторних пристроїв та накопичувачів енергії (Batteries and Energy Storage); нові технології генерації енергії (Power Generation); пошук нових шляхів передачі енергії (Power Transmission); нові силові установки (Propulsion).

В галузі створення ефективних накопичувачів енергії для військових потреб тривають роботи щодо оптимізації традиційної технології літій-іонних акумуляторів та впровадження нових технологій калій-іонних і цинк-іонних акумуляторів, а також вивчаються нові технології на базі подвійного вуглецю, літій-вуглецю, літій-залізо-фосфатів, натрій-заліза, магній-сірки тощо. Деякі з цих технологій зосереджені на великомасштабному накопиченні електроенергії, тоді як інші орієнтовані на використання в транспортних платформах.

Інший варіант накопичення енергії зі значними перевагами у вазі, безпеці, термінах служби, щільності енергії, швидкості заряджання та токсичності забезпечують суперконденсатори або ультраконденсатори, які не покладаються на електрохімічне накопичення, або гібридні системи, що поєднують електрохімічне накопичення енергії із суперконденсаторами (Reding, Eaton, 2020), (McFadden, 2020).

Дослідження технологій виробництва чистої енергії має важливе значення для підтримки кліматичної політики НАТО та європейських країн. Перш за все, це відновлювані джерела енергії на основі накопичення сонячної енергії або використанні екологічно безпечного біопалива з нейтральним викидом вуглецю (наприклад, біоетанол, біодизель і біобутанол) чи водню. Іншим перспективним напрямком є створення компактних (об'єктових) ядерних енергетичних установок на базі більш безпечнішого та екологічного ядерного палива, наприклад торієві (David, 2023), (Barry, Santoso, 2022).

В галузі передачі енергії розглядаються два перспективні напрямки: бездротова передача енергії (Wireless Power Transfer, WPT) (на короткі відстані потужність передається за допомогою магнітних полів з використанням індуктивного зв'язку або за допомогою електричних полів з використанням ємнісного зв'язку, а на дальні відстані – за допомогою вузькоспрямованого електромагнітного випромінювання) та локалізовані електромережі (Microgrids) військових містечок чи кораблів, здатні відключатися від великих мереж електропередачі, тим самим підвищуючи стійкість і локалізацію енерговиробництва.

Створення та широке впровадження ефективних силових установок або забезпечення потужності військових транспортних засобів є серйозною технічною проблемою, яка досліджується за трьома основними напрямками: електрифікація бойових платформ, нові аерокосмічні двигуни та екологічні операції.

Прикладами електрифікації бойових платформ є роботи із заміни на літаках, кораблях, танках та інших бойових та транспортних платформах традиційних двигунів (на викопному паливі) на електричні або гібридні силові установки, перехід на види палива із низьким вмістом вуглецю. При цьому, нові силові установки та види палива мають бути уніфікованими із цивільними стандартами та бути сумісними із комерційним сектором виробництва. Наприклад, розроблені в інтересах сухопутних військ армії США тактичні комплекти електрифікації транспортних засобів (Tactical Vehicle Electrification Kits (TVEK) знижують середні витрати палива на 25 %. Перший прототип повністю електричної легкої розвідувальної машини Electric Light Reconnaissance Vehicle (eLRV) проходить випробування, а повний перехід бойової і транспортної техніки на гібридні силові установки заплановано до 2035 року, на повністю електричні – до 2050 року (Кулагін, Солонець, Квіткін, Ведмідь, Губарєва, 2023).

Група технологій “E&EM Technologies” – технології створення мікроелектронних та мікроелектромеханічних пристроїв та іншої електронної компонентної бази, пошуку нових мікросхемотехнічних рішень та нової архітектури кристалів інтегральних мікросхем, вдосконалення напівпровідникових технологій і матеріалів, а також створення пристроїв для генерування і випромінювання потужних імпульсів електромагнітного випромінювання, потужних імпульсних джерел живлення з високою питомою щільністю енергії, розробки нових підходів до генерування потужного мікрохвильового випромінювання.

Технологічний прогрес та впровадження EDT технологій суттєво залежить від розробки нової мікроелектроніки та управління електромагнітним спектром. Однак, постійне масштабування електронної компонентної бази на основі кремнію, як вважають експерти НАТО (Reding, Eaton, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023), зіткнеться з жорсткими фізичними обмеженнями протягом наступних десяти років. Це вимагатиме нових підходів до електронних систем, які використовують нові матеріали, конструкції, архітектури (поєднання пам’яті та обчислень), фізику (магнітні стани, властивості спіну електронів, топологічні ізолятори, фазозмінні матеріали, захоплені іони та фотонні квантові схеми), фотоніку, інструменти проектування з підтримкою штучного інтелекту та нейроморфні конструкції чипів (Budget Estimates Justification Book, 2022). Електромагнітний спектр стає все більшою зоною конкуренції та перевантаження. Тому постійно ведуться дослідження щодо його максимізації та оптимізації (наприклад, когнітивні радіостанції та управління частотою), одночасно враховуючи виклики радіоелектронної боротьби.

Очікується (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023), що протягом наступних 20 років розвиток відбуватиметься в таких сферах:

Advanced Electronics and Electromagnetics (передова електроніка та електромагнетика) – технології створення нової мікроелектроніки на базі традиційних та інноваційних матеріалів. Значна частина цих досліджень згрупована в три великі категорії (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023), (Budget Estimates Justification Book, 2022): матеріали (нові сполуки без кремнію (наприклад, на основі галію, арсеніду або нітриду галію, карбіду кремнію тощо) та 2D матеріали), архітектура (переосмислення архітектури мікрочіпів і плат на основі кремнію, спеціалізовані схеми, побудовані за допомогою штучного інтелекту, схеми для біоміметичних, нейроморфних та гіпервимірних обчислень) та дизайн (удосконалення продуктивності, дизайну та компонування мікросхем з використанням AI/ML-технологій);

Antennas (нові конструкції антен) – технології створення нових конструкції антен та сенсорних систем із покращеними SWaP-C-характеристиками і продуктивністю, а також систем бездротового зв’язку великої відстані, у тому числі під землею та під водою. Перспективні дослідження знаходяться в таких сферах: антени із механічним управлінням магнітних/електричних полів на ультранизьких (ULF), від 0,3 до 3 кГц, та наднизьких (VLF), від 3 до 30 кГц частотах для створення дальнього бездротового зв'язку, а також підводних та підземних каналів зв’язку; антени для надширокосмугових випромінювачів і приймачів для забезпечення надійних і захищених каналів зв'язку, стійких до засобів радіоелектронної боротьби; 4D-антенні решітки для багатоканальної передачі та інтелектуального формування електромагнітного променю;

Photonics and Lasers (фотоніка та лазери) – технології, маніпулювання електронами та фотонами для передачі інформації, обробки сигналів, спектроскопічного зондування і зображення, а також для розробки мікрочипів, змодельованих на основі нейронних процесів (нейроморфна фотоніка), ідеальних для додатків AI/ML. Крім того, розробки кремнієвих чипів для керування світлом, нанолазерів на чипі дозволяють перейти до квантових обчислень;

Spectrum (електромагнітний спектр) – технології, ефективного використання наявного електромагнітного спектру, його контролювання та протидії доступу до такого спектру ворожим сторонам. Перспективні дослідження стосуються трьох сфер: адаптивний камуфляж (розробки спрямовані на адаптацію оптичних і майже оптичних сигнатур людини, транспортних платформ чи об'єктів до існуючого фону чи оточення), високочастотне надлишкове узгодження з високою потужністю (розробки потужних підсилювачів, призначених для організації зв'язку на високочастотних хвилях міліметрового діапазону для забезпечення високошвидкісного зв'язку, підвищеної чутливості і збільшення роздільної здатності датчиків) та адаптивне керування спектром (розробки когнітивних радіостанцій або датчиків із використанням алгоритмів AI/ML для адаптації до мінливого електромагнітного середовища, включаючи перешкоди та радіоелектронну боротьбу;

Directed Energy Weapons (DEW) (зброя спрямованої енергії) – технології створення лазерної, мікрохвильової, пучкової та звукової зброї для засліплення сенсорів бойових платформ та супутників, придушення функціонування або фізичного руйнування ворожої цілі (живої сили, ракет, літаків, безпілотних платформ, транспортних засобів тощо).

Найбільш перспективними розробками DEW є: високоенергетичний лазер (High-Energy Laser, HEL) та потужна мікрохвильова (High-Powered Microwave, HPM) зброя, яка потенційно може генерувати вплив на більш широкі території, вимикаючи будь-яку електроніку в своєму електромагнітному конусі, ніж лазерна зброя. Хоча це навряд чи нова технологія, зброя спрямованої енергії (DEW) розвинулася, і попит на неї різко зріс у всьому світі. Ці лазери та потужна мікрохвильова зброя вже є руйнівною силою на полі бою, і очікується, що вони будуть використовуватися ще ширше протягом наступних кількох років.

За оцінками, поточний глобальний ринок DEW становить 14,3 мільярда доларів США та зросте до 72,1 мільярда доларів США до 2028 року (Global Directed Energy Weapons Industry, 2022). Значною мірою це зростання зумовлене вдосконаленням систем накопичення енергії, розвитком AI/ML та технологій створення нових матеріалів. Багато систем DEW введено в дію або мають дуже високий рівень технологічної готовності (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023), (Kelley, Feickert, O'Rourke, 2023), (Hoffman, 2021), (Клонцак, Камалов, Стецюра, 2022).

Комбінація розглянутих технологій і нові механізми взаємодії між ними дозволяють створити нові конвергентні технології, які згодом можуть стати проривними. Наприклад, синергетичне поєднання технологій аналітики великих даних і штучного інтелекту з використанням інтелектуальних, широко розповсюджених і дешевих сенсорів разом із технологіями автономності має забезпечити отримання потенційної військово-стратегічної та оперативної переваги, приєднання квантових технологій розширить можливості збору, обробки та використання даних (C4ISR) завдяки значному збільшенню можливостей датчиків, безпечного зв'язку та обчислень, додавання технологій створення нових матеріалів сприятиме розробці матеріалів з унікальними фізичними властивостями, а поєднання з біотехнологіями сприятиме розробці нових ліків, цілеспрямованим генетичним модифікаціям, прямим маніпулюванням біохімічними реакціями та живим датчикам. В свою чергу розробка екзотичних матеріалів, нових конструкцій, мініатюризація, нові способи генерації та накопичення енергії, методи адитивного виробництва та вдосконалення конструкцій силових агрегатів і двигунів сприятиме повному використанню усіх п'яти операційних середовищ, включно з кіберпростором і космосом шляхом зменшення витрат, підвищення надійності, покращення продуктивності та полегшення виробництва.

Щоб зрозуміти стан та темпи розвитку EDT або їх комбінацій, важливість та перспективність кожної групи технологій використовують певні критерії оцінки: потенційний

військовий вплив, рівень уваги або захоплення (хайпу) навколо певної технології чи наукової області, поточний рівень технологічної готовності, часовий горизонт, в якому очікується, що наука чи технології будуть повністю зрілими, відповідність визначеним операційним спроможностям та сфери науки і технологій, на які впровадження EDT технологій має значний вплив.

Першим кроком оцінюється потенційний ймовірний вплив впровадження технології або декількох технологій на зміну визначальних характеристик оборонних спроможностей чи носіїв цих спроможностей (військові організаційні структури, зразки (комплекси, системи) озброєння та військової техніки), таких як: швидкість, дальність, точність, летальність, живучість, доступність тощо. Цей вплив може бути помірним (10-50%), високим (50-100%) або революційним (кардинальна зміна характеристик існуючих або отримання абсолютно нових спроможностей, що раніше були недосяжні або недооцінені).

На другому, оцінюється рівень уваги та захоплення технологією, а також здатність технології пройти всі етапи інтеграції до сталого технологічного середовища. На цьому етапі експерти мають проаналізувати багато різних факторів, що відображають рівень уваги до технології, її інноваційний потенціал та інвестиційну привабливість: перелік країн, які приділяють увагу певній технології, рейтинг їх військового потенціалу та динаміка доходів від реалізації військових технологій; включення досліджень певної технології у загальні витрати на оборону; рівень інвестицій в розвиток технології та запит на навчання і кваліфікацію персоналу; кількість наукових публікацій та патентів; результати аналізу ризиків переоцінки чи недооцінки потенціалу технології та багато інших факторів.

Цікавим є інструмент, запроваджений американською компанією Gartner,Inc., так званий “цикл очікувань (хайпу) від новітніх технологій (Hype Cycle for Emerging Technologies)” – цикл, який показує, як потенційно успішна новітня технологія проходить через п’ять ключових фаз (Слюсар, Сотник, Купчин, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023): тригер інновації, пік завищених очікувань, розчарування, просвітлення та плато продуктивності. Унікальним аспектом цього інструменту є його здатність узагальнювати інформацію з безлічі технологій, які щорічно оглядає Gartner, Inc., визначаючи лише найбільш трансформаційні з них, які, за прогнозами аналітиків компанії, революційно змінять певні галузі протягом 10 років. Для прикладу, на рисунку 1 показаний цикл Гартнера на 2023 рік.

Технології не завжди прогресують від початку до кінця такого циклу, багато напрямків науки або технологічних відкриттів ніколи не створюють проривів для інновацій, або вони зникають із суспільної свідомості після початкового захоплення як непродуктивні напрямки розвитку, або можуть з’явитися згодом як нові конвергентні розробки, що породжують стару ідею. Розвиток більшості новітніх технологій можливо спрогнозувати лише з певною долею імовірності, але еволюційний процес, побудований на творчих невдачах та помилках, має важливе значення для науково-технічного прогресу, оскільки вивчені уроки та фантастичні ідеї, призводять до абсолютно нових напрямів досліджень, відкриттів та інновацій. Балансування між піком завищених очікувань та нижньою точкою проблеми розчарування є критичним завданням у прийнятті рішень щодо інвестицій та довгострокових спроможностей. Цикл Гартнера є корисним для цієї мети, але є помітні вади в його використанні як інструменту для оцінки та прийняття рішень, зокрема, розміщення технології на кривій Гартнера визначається оціненим експертами рівнем очікувань (хайпу), а не кількісними показниками розвитку технології.

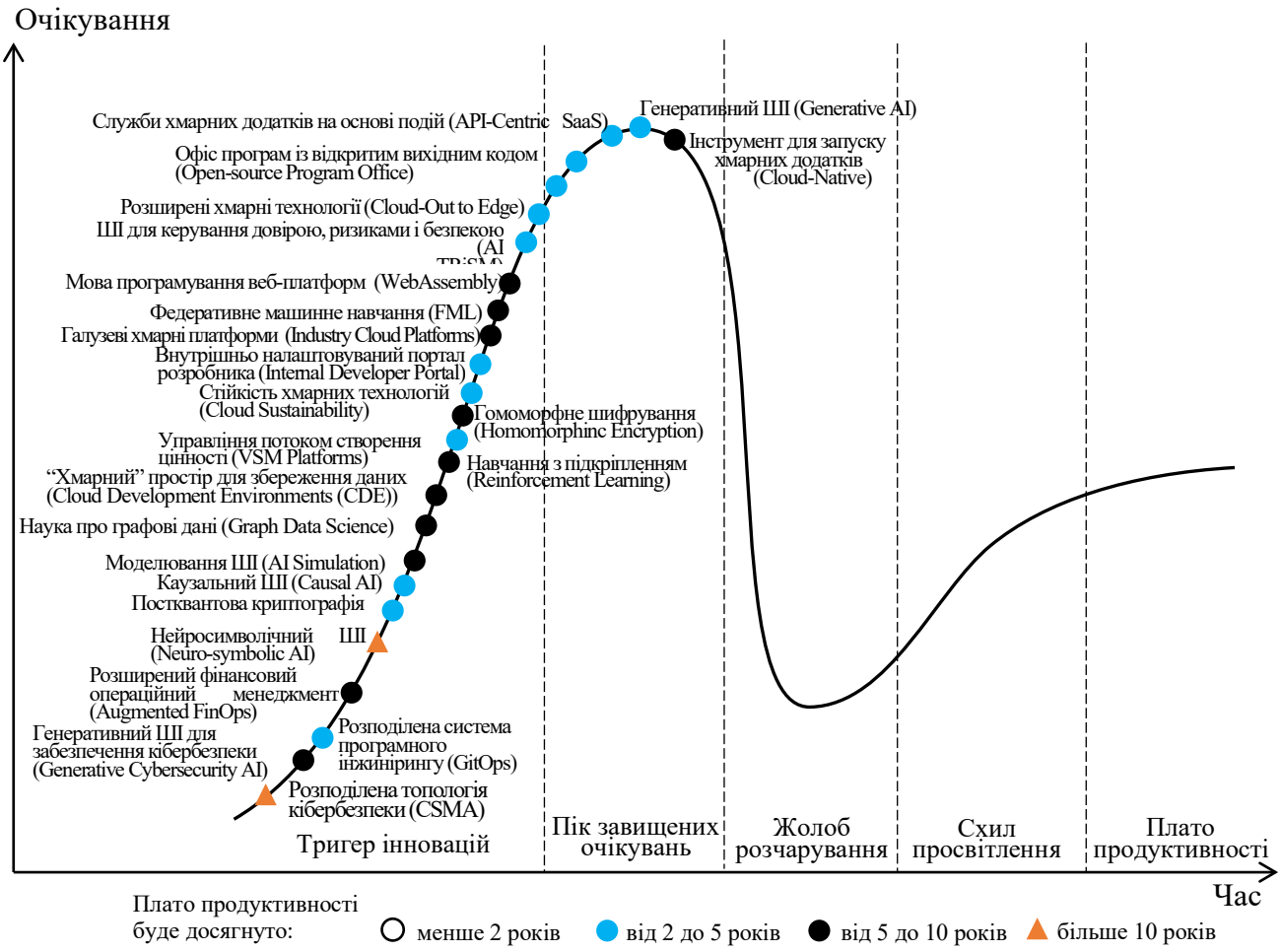


Рисунок 1. Цикл Гартнера для новітніх (виникаючих) технологій за 2023 рік

Третім етапом є оцінка рівня зрілості технології (Technology Readiness Level, TRL). Система оцінки базується на шкалі з дев'яти рівнів, де 1 – найнижчий, базовий рівень готовності, 9 – найвищий. Всього є 9 рівнів технологічної готовності. Вперше таку шкалу оцінки запропонували в Національному аерокосмічному агентстві США (NASA), згодом Європейська комісія порадила науково-дослідним та інноваційним проєктам, що фінансуються ЄС, прийняти цю шкалу (З лабораторії до комерціалізації: шлях наукоємних продуктів крізь рівні технологічної готовності. Інноваційні кейси, 2023).

На найнижчому рівні зрілості (TRL1) наукові дослідження трансформуються у прикладні дослідження та розробки, основні принципи технології розроблені та описані, результати досліджень опубліковані та рецензовані, але технологія існує лише "на папері". На рівні TRL2 принципи технології вже вивчені, концепція технології сформульована, а початкові результати можуть бути застосовані на практиці, практичне застосування визначено, але воно має загальний характер. На етапі досягнення рівня TRL3 розпочинаються активні дослідження та розробки, як аналітичні, так і експериментальні дослідження для перевірки життєздатності технології, експериментального підтвердження концепції та її готовності до подальшого розвитку. Після успішного підтвердження концепції на рівень TRL3 основні компоненти технології повинні бути інтегровані, щоб пересвідчитись, що окремі елементи можуть успішно працювати разом, технологія перевіряється в лабораторних

умовах, документуються результати тестувань, що демонструють відповідність аналітичним прогнозам. На етапі TRL5 тестування прототипів технології дозволяє спрогнозувати завдання для наступних етапів розробки. Повністю функціональний прототип чи репрезентативна модель демонструються та експлуатуються у відповідному середовищі використання на етапі TRL6. Рівень TRL7 – демонструє роботу реального прототипу технології в робочому середовищі та його працездатність в реальних умовах експлуатації. Демонстрація має бути прототипом реального застосування. Якщо це фізичний зразок – то це високоточна інженерна одиниця, яка адекватно вирішує всі критичні проблеми масштабування, побудована і експлуатується у відповідному середовищі для демонстрації продуктивності в реальному операційному середовищі і на платформі (наземній, морській, повітряній або космічній), якщо ж програмне забезпечення – існує прототип з усіма ключовими функціями, доступними для демонстрації та тестування. Всі технології, що застосовуються в реальних системах, проходять через рівень TRL 8. Майже у всіх випадках цей рівень є кінцевим для розробки технології. На цьому рівні кінцевий продукт у своїй остаточній конфігурації успішно продемонстрований шляхом випробувань і аналізу для визначеного операційного середовища і відповідної платформи. Все програмне забезпечення налагоджене і повністю інтегроване з усіма діючими апаратними та програмними системами. Вся документація для користувача, навчальна документація і документація з технічного обслуговування завершена. Рівень TRL9 майже у всіх випадках це фінальне виправлення помилок та основних аспектів роботи в реальних умовах. Також мова може йти про інтеграцію нової технології в існуючу систему. На цьому рівні технологію можуть використовувати замовники, налагоджено постійну технічну підтримку, технологія чи продукт готові до серійного виробництва.

На рисунку 2 наведені узагальнені дані щодо рівнів технологічної зрілості основних груп новітніх та проривних технологій, що розглянуті вище.

На четвертому етапі оцінюється часовий горизонт досягнення рівня технологічної зрілості (TRL8-TRL9). Це достатньо важливий часовий показник, особливо для інвесторів. Граничний часовий строк зрілості технології оцінюється в ході різного роду форсайт-досліджень (Слюсар, Сотник, Купчин, 2020), (Reding, Lucia, Blanco, Regan, Bayliss, 2023).

На п’ятому етапі оцінюється вплив на поточні та майбутні оборонні спроможності та формуються пропозиції в рамках процесу оборонного планування (Слюсар, Кулагін, 2019). Кожна технологія оцінюється на предмет потенційного впливу (низький, середній чи високий). Майже всі розглянуті групи технологій оцінені експертами НАТО як такі, що мають високий або навіть революційний рівень впливу на оборонні спроможності Альянсу.

Оборонна наука поділяється на три великі сфери, що охоплюють дослідження в людській (включаючи біологічну), інформаційній та фізичній сферах науки і технології. Тому на шостому етапі здійснюється прив’язка EDT до цих трьох основних напрямів наукових досліджень, що допомагає забезпечити цілісний підхід до досліджень, розробки та експлуатації EDT.

Отже, оцінка потенційного впливу виникаючих або руйнівних технологій не є простим процесом. Для цього потрібно врахувати середовище загрози (поточне та майбутнє), правові та політичні обмеження, політичні фактори, інвестиційні рішення, а також оцінити економічний та підприємницький потенціал, толерантність і готовність до ризику.

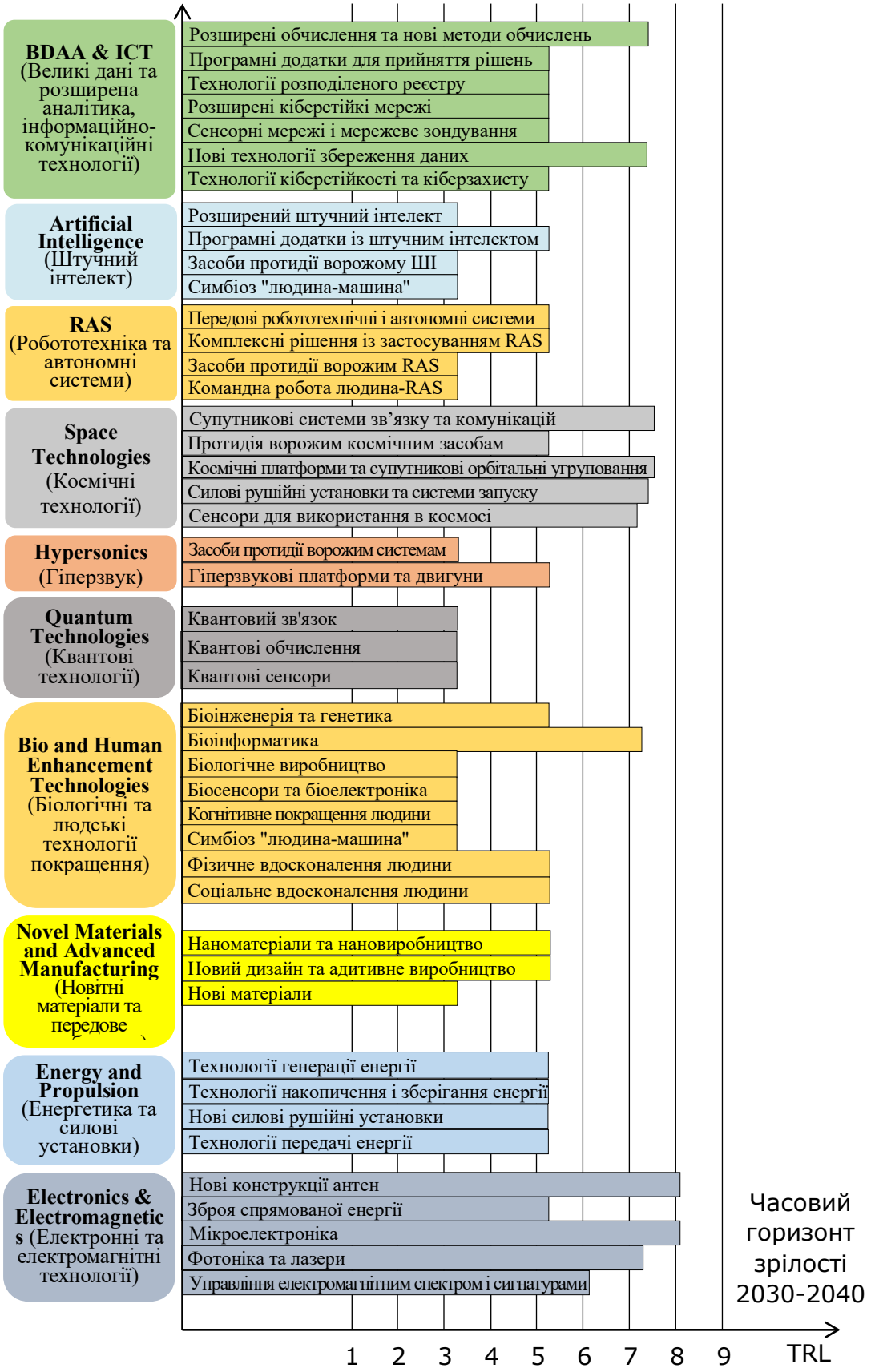

BDAA & ICT (Великі дані та розширена аналітика, інформаційно-комунікаційні технології)
Розширені обчислення та нові методи обчислень
Програмні додатки для прийняття рішень
Технології розподіленого реєстру
Розширені кіберстійкі мережі
Сенсорні мережі і мережеве зондування
Нові технології збереження даних
Технології кіберстійкості та кіберзахисту
Artificial Intelligence (Штучний інтелект)
Розширений штучний інтелект
Програмні додатки із штучним інтелектом
Засоби протидії ворожому ШІ
Симбіоз "людина-машина"
RAS (Робототехніка та автономні системи)
Передові робототехнічні і автономні системи
Комплексні рішення із застосуванням RAS
Засоби протидії ворожим RAS
Командна робота людина-RAS
Space Technologies (Космічні технології)
Супутникові системи зв'язку та комунікацій
Протидія ворожим космічним засобам
Космічні платформи та супутникові орбітальні угруповання
Силові рушійні установки та системи запуску
Сенсори для використання в космосі
Hypersonics (Гіперзвук)
Засоби протидії ворожим системам
Гіперзвукові платформи та двигуни
Quantum Technologies (Квантові технології)
Квантовий зв'язок
Квантові обчислення
Квантові сенсори
Bio and Human Enhancement Technologies (Біологічні та людські технології покращення)
Біоінженерія та генетика
Біоінформатика
Біологічне виробництво
Біосенсори та біоелектроніка
Когнітивне покращення людини
Симбіоз "людина-машина"
Фізичне вдосконалення людини
Соціальне вдосконалення людини
Novel Materials and Advanced Manufacturing (Новітні матеріали та передове
Наноматеріали та нановиробництво
Новий дизайн та адитивне виробництво
Нові матеріали
Energy and Propulsion (Енергетика та силові установки)
Технології генерації енергії
Технології накопичення і зберігання енергії
Нові силові рушійні установки
Технології передачі енергії
Electronics & Electromagnetics (Електронні та електромагнітні технології)
Нові конструкції антен
Зброя спрямованої енергії
Мікроелектроніка
Фотоніка та лазери
Управління електромагнітним спектром і сигнатурами
Часовий горизонт зрілості 2030-2040
1 2 3 4 5 6 7 8 9
TRL

Рисунок 2. Рівень технологічної готовності основних новітніх та проривних технологій станом на 2023 рік

Висновок (Conclusion)

В статті було розглянуто, як нові та руйнівні технології можуть забезпечити або вплинути на військові спроможності у часовий проміжок до 20 років. Поодинці або в поєднанні вони визначають технологічну межу, необхідну для ефективності оперативних та організаційних сил сектору безпеки і оборони. Як швидко, в якому порядку і в кінцевому рахунку наскільки успішні будуть ці технології, або які ризики вони представлятимуть, до кінця ще не зрозуміло. Коло потенційних операційних сфер військової діяльності постійно розширюється і розвивається, так само, як змінюються геополітичні, військові, економічні, соціальні, кліматичні та технологічні ландшафти. Однак, довгострокові прогнози військових експертів, зокрема з країн НАТО, надають корисну інформацію та фахові поради щодо визначення пріоритетності нових можливостей та технологічних інвестицій, забезпечують основу для вибору перспективних напрямків подальших досліджень в сфері економічної безпеки та національної оборони, сприяють технологічній обізнаності та підготовленості до ефективної інвестиційної політики та розвитку оборонно-промислового комплексу.

Запропонований в статті системний аналіз визнаних експертами НАТО десяти основних груп новітніх та проривних технологій, які очікувано досягнуть технологічної зрілості у найближчі 15-20 років та значно вплинуть на оборонні спроможності країн-членів НАТО і, відповідно, країн-партнерів може бути корисним для фахівців, що формують воєнно-технічну та оборонно-промислову політику держави.

Для розвитку військового потенціалу відповідного поточним та майбутнім геостратегічним викликам, країни мають бути на передовій у галузі інновацій, досягнень науки і техніки, проектування та виробництва найсучаснішого та технологічно досконалого озброєння та військової техніки. Також, для цього потрібна обґрунтована оцінка потенційного середовища безпеки у майбутньому, особливо щодо військових викликів та загроз безпеці, що виникають внаслідок нових науково-технічних відкриттів, реалізації проривних технологій у відкритому глобалізованому світі.

Постійний моніторинг науково-технологічних трендів, визначення їх проривного військового потенціалу, і ризиків як переоцінки та фінансових прорахунків, так і недооцінки та очікуваної вразливості системи безпеки і оборони, є одним з інструментів нарощування оборонної технологічної переваги або, щонайменше, підтримання військово-технологічного паритету з евентуальним противником, крім того він стає прискорювачем впровадження інновацій, новітніх та проривних технологій в оборонно-промисловому комплексі.

Отримані результати дозволять сконцентрувати увагу наукової спільноти на основних інноваційних трендах в оборонній сфері та залучити якомога ширше коло експертів до обговорення та обґрунтування перспективних і першочергових для України напрямків впровадження новітніх та проривних технологій, аналізу ризиків та обґрунтованої селекції технологій, що мають потенціал стати критичними для держави.

Рекомендації (Recommendations)

Матеріали статті рекомендуються для використання науковим та науково-педагогічним складом наукових установ та вищих навчальних закладів Збройних Сил України та

Міністерства оборони України, експертами інших міністерств, що забезпечують сектор безпеки і оборони та фахівцями оборонно-промислового комплексу.

У подальшому доцільно зосередитись на більш детальному визначенні переліку новітніх та проривних технологій, які мають потенціал реалізації в Україні самостійно або за підтримки країн-партнерів, їх більш глибокому аналізі та оцінці, зокрема ступеню критичності для національної безпеки держави та технологічної переваги для наближення перемоги у агресивній війні, що розв'язана російською федерацією.

Використані джерела

1. Шваб, К. (2017). *Четвертая промышленная революция*. Эксмо. http://loveread.ec/contents.php?id=66348.
2. Шваб, К. (2018). *Технологии Четвертой промышленной революции*. Эксмо. http://loveread.ec/view_global.php?id=73865.
3. Кристенсен, К.М. (2004). *Диллема инноватора. Как из-за новых технологий погибают сильные компании*. Альпина Бизнес Букс.
4. Rotolo, D., Hicks, D., Martin, B. (2015). *What is an emerging technology?* University of Sussex. (Version 1). https://hdl.handle.net/10779/uos.23420075.v1.
5. Küfeoğlu, S. (2022). Emerging Technologies. *Sustainable Development Goals Series.* Springer, Cham. 11-21. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07127-0_2.
6. Mariette, D., Meyerson, B.S. (2023). *Top 10 Emerging Technologies of 2023, Flagship Report, Centre for Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum. https://www.weforum.org/publications/top-10-emerging-technologies-of-2023/.
7. Armstrong, P. (2017). *Disruptive Technologies. Understand, evaluate, respond*. Kogan Page Publishers.
8. Manners-Bell, J., Lyon, K. (2022). *Logistics and supply chain innovation. A practical guide to disruptive technologies and new business model*. Kogan Page Publishers.
9. Слюсар, В.І., Сотник, В.В., Купчин, А.В. (2020). Проривні технології в оборонній сфері України. *Озброєння та військова техніка*, *4*(28). 13-23.
10. Сотник, В.В., Расстригін, О.О., Купчин, А.В. (2020). Методика відбору критичних технологій. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. *1*(37). 67-76. http://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-37-1-67-76.
11. Матюшенко, І.Ю. (2016). *Розробка і впровадження конвергентних технологій в Україні в умовах нової промислової революції: організація державної підтримки.* ФОП Александрова К.М.
12. Писаренко, Т., Кваша, Т., Гаврис, Т. (2021). *Аналіз світових технологічних трендів у військовій сфері*. УкрІНТЕІ. http://doi.org/10.35668/978-966-479-127-1.
13. Писаренко, Т., Кваша, Т. (2020). *Глобальні технологічні тренди у сфері озброєння та військової техніки*. УкрІНТЕІ. http://doi.org/10.35668/978-966-479-117-2.
14. Reding, D.F., Eaton, J. (2020). *Science & Technology Trends 2020-2040. Exploring the S&T Edge. March, 2020. NATO Science & Technology Organization*, Office of the Chief Scientist, Brussels. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf.
15. Reding, D.F., Lucia, A.D., Blanco, A.M, Regan, L.A., Bayliss, D. (2023). *Science & Technology Trends 2023-2043. Across the Physical, Biological, and Information Domains. Overview.* 1. NATO Science & Technology Organization, Office of the Chief Scientist. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2023/3/pdf/stt23-vol1.pdf.

16. Reding, D.F., Lucia, A.D., Blanco, A.M, Regan, L.A., Bayliss, D. (2023). *Science & Technology Trends 2023-2043. Across the Physical, Biological, and Information Domains. Analysis.* 2. NATO Science & Technology Organization, Office of the Chief Scientist. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2023/3/pdf/stt23-vol2.pdf.
17. Chana, Deeph. (2020). *NATO Advisory Group on Emerging and Disruptive Technologies. Annual report.* North Atlantic Treaty Organization. www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2021/3/pdf/210303-EDT-adv-grp-annual-report-2020.pdf.
18. Chana, Deeph. (2021). *NATO Advisory Group on Emerging and Disruptive Technologies. Annual report.* North Atlantic Treaty Organization. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2022/7/pdf/220715-EDT-adv-grp-annual-report-2021.pdf.
19. *NATO Warfighting Capstone Concept.* (2023). Allied command transformation NATO'S Strategic Warfare Development Command. https://www.act.nato.int/wp-content/uploads/2023/06/NWCC-Glossy-18-MAY.pdf.
20. Keller, J. (2020, Dec. 2). *What 5G means to the military.* The Military & Aerospace Electronics. https://www.militaryaerospace.com/rf-analog/article/14188341/military-5g-communications.
21. Слюсар, В.І., Кулагін, К.К. (2019). Особливості процесу оборонного планування НАТО. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 3*(36). 47-59. http://dx.doi.org/10.30748/nitps.2019.36.06.
22. *Disentangling AI, Machine Learning, and Deep Learning.* (2021, April 5). Exxact Corporation. https://www.exxactcorp.com/blog/Deep-Learning/difference-between-ai-machine-learning-and-deep-learning?gclid=Cj0KCQiA47GNBhDrARIsAKfZ2rALRgE7vtm XoqQx_-fWly40_XMl_Q-esKbaEzfx5Rbw5M2mVRwIk0QaArYaEALw_wcB.
23. Robotic and Autonomous Systems in a Military Context. (2021). Jstor.org. https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep29554.3.pdf.
24. Peterson, P. (2021, September 26). *Advanced Electric Propulsion System (AEPS) Enabling a Sustainable Return to the Lunar Surface through NASA Gateway. 74th Annual Gaseous Electronics Conference*. NTRS – NASA Technical Reports Server https://ntrs.nasa.gov/citations/20210022011.
25. Jeffrey, C. (2022, May 4). *Here's what it looks like to get flung from a centrifuge at 1,000 mph.* Techspot. https://www.techspot.com/news/94466-here-what-looks-like-get-flung-centrifuge-1000.html.
26. *NATO's overarching Space Policy.* (2022, Jan., 17). North Atlantic Treaty Organization. https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_190862.htm.
27. Brunner, Karl-Heinz. (2021, October 10). *Space and Security – NATO'S Role. Preliminary Draft Special Report.* https://www.nato-pa.int/download-file?filename=/sites/default/files/2021-04/025%20STC%2021%20E%20-%20SPACE%20AND%20SECURITY%20-%20BRUNNER_2.pdf.
28. Tirpak, J.A. (2018, June 27). The Great Hypersonic Race. *The Great Hypersonic Race – Air Force Magazine*. https://www.airandspaceforces.com/article/the-great-hypersonic-race/.
29. Speier, R.H., Nacouzi G., Carrie Lee, and Moore, R. (2017). *Hypersonic Missile Nonproliferation: Hindering the Spread of a New Class of Weapons*. CA: RAND Corporation. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2137.html.
30. Mizokami, Kyle. (2019, Dec. 30). Russia's New Hypersonic Weapon Flies at Mach 27. *Popular Mechanics*. https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a30346798/russia-new-hypersonic-weapon-mach-27/.
31. Bernstein, P., Hancock, D. (2021, Jan. 27). China's Hypersonic Weapons. *Georgetown Journal of International Affairs*. https://gjia.georgetown.edu/2021/01/27/chinas-hypersonic-weapons/.

32. *Гіперзвукова зброя*. (20 лютого 2024). Deep State. Vanguard. https://deepstateua.com/hypersonic_missiles/.
33. Mizokami, K. (2022, Apr. 05). Russia Is Using Hypersonic Weapons to 'Put Fear Into the Hearts of Ukrainians. *Popular Mechanics*. https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a39600945/why-russia-is-using-hypersonic-weapons-in-ukraine/.
34. Lendon, Brad. (2024, February 13). Russia used an advanced hypersonic missile for the first time in recent strike, Ukraine claims. *CNN Business.* https://edition.cnn.com/2024/02/13/europe/ukraine-russia-zircon-hypersonic-missile-intl-hnk-ml/index.htm.
35. Amerongen, M. (03 червня 2021). Квантові технології в обороні і безпеці. https://www.nato.int/docu/review/uk/articles/2021/06/03/kvantov-tehnolog-v-oboron-bezpets/index.html.
36. Krelina, M. (2021). Quantum technology for military Applications. *EPJ Quantum Technology*. https://epjquantumtechnology.springeropen.com/articles/10.1140/epjqt/s40507-021-00113-y.
37. Post-Quantum Cryptography. (2023, November 22). National Institute of Standards and Technology. Computer Security Resource Center. https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography.
38. Roblin, S. (2019, Apr. 27). No More "Stealth" Submarines: Could Quantum "Radar" Make Submarines Easy to Track (And Kill)? *The National Interest*. https://nationalinterest.org/blog/buzz/no-more-stealth-submarines-could-quantum-radar-make-submarines-easy-track-and-kill-54547.
39. Wes O'Donnel. (2019, Sept. 11). Quantum Radar a Game Changer for Offensive Stealth Operations. American Military University EDGE. https://amuedge.com/quantum-radar-a-game-changer-for-offensive-stealth-operations/.
40. Ladisch, M. (2001, June 11). *Opportunities in Biotechnology for Future Army Applications*. National Academies Press. https://doi.org/10.17226/10142.
41. The wonder material graphene may have found its killer app. (2022, May). *The Economist*. https://www.economist.com/science-and-technology/2022/05/18/the-wonder-material-graphene-may-have-found-its-killer-app.
42. Yiming, Hu. (2022, May 09). Synthesis of γ-graphyne using dynamic covalent chemistry *Nature Synthesis.* 1. 449–454. https://www.nature.com/articles/s44160-022-00068-7.
43. Young, J. (2021). *What are the most important areas in polymer research?* https://www.hindawi.com/post/what-are-most-important-areas-polymer-research/.
44. Hecht, J. (2022, Aug. 10). Nanomaterials pave the way for the next computing generation. *Nature 608.7922*. https://www.nature.com/articles/d41586-022-02147-3.
45. *Additive Manufacturing Research Group* (AMRG). (2018) The 7 categories of Additive Manufacturing, Additive Manufacturing Research Group, Loughborough University. Loughborough University. https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/.
46. Bechelany, M. (2022). Nanofabrication and Nanomanufacturing. *Nanomaterials. 12*(3). https://www.researchgate.net/publication/358202961_Nanofabrication_and_Nanomanufacturing.
47. McFadden, C. (2020, June 6). Could Ultracapacitors Replace Batteries in Future Electric Vehicles? https://interestingengineering.com/science/could-ultracapacitors-replace-batteries-in-future-electric-vehicles.
48. David, E. (2023). Power Electronics Handbook by Muhammad H. Rashid. *Cosmic Journal of Phisics. 2*(1). 38-60. https://www.researchgate.net/publication/375598117_Power_Electronics_Handbook_by.

49. Barry, N., Santoso, S. (2022). Modernizing Tactical Military Microgrids to Keep Pace with the Electrification of Warfare. Military Review. https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/military-review/Archives/English/ND-22/Barry/Barry%20November-December-UA.pdf.
50. Кулагін, К.К., Солонець, О.І., Квіткін, К.П., Ведмідь, О.І., Губарєва, О.П. (2023). Вплив змін клімату на безпеку військових операцій і життєвий цикл озброєння та військової техніки. *Системи озброєння і військова техніка. 2*(74). https://doi.org/10.30748/soivt.2023.74.06
51. Budget Estimates Justification Book. (2022). Defense Advanced Research Projects Agency. Department of Defense Fiscal Year. https://www.darpa.mil/attachments/U_RDTE_MJB_DARPA_PB_2023_APR_2022_FINAL.pdf.
52. *Global Directed Energy Weapons Industry*. (2022, Oct.). ReportLinker. https://www.reportlinker.com/p05798382/Global-Directed-Energy-Weapons-Industry.html?utm_source=GNW.
53. Kelley, M., Feickert, A., O'Rourke, R. (2023, August 22). Background and Issues for Congress. https://sgp.fas.org/crs/weapons/R46925.pdf.
54. Hoffman, R. (2021). High Power Microwaves High Power Microwave (HPM) 6.1 Programs. NVAL Science & Technology. https://www.nre.navy.mil/media/document/directed-energy-weapons-dew-high-power-microwave-hpm-61-programs-fy21-annual-report.
55. Клонцак, М.Я., Камалов, Є.В., Стецюра, І.Р. (2022). Перспективи оснащення Збройних Сил України зброєю спрямованої енергії. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняховського*. 3(76). http://znp-cvsd.nuou.org.ua/article/view/274787/269951.
56. *З лабораторії до комерціалізації: шлях наукоємних продуктів крізь рівні технологічної готовності. Інноваційні кейси*. (10 вересня 2023). NEF (Нова економіка Івано-Франківська). https://neweconomy.if.ua/innovations/innovation-cases/z-laboratoriyi-do-komerczializacziyi-shlyah-naukoyemnyh-produktiv-kriz-rivni-tehnologichnoyi-gotovnosti/.

References

1. Schwab, K. (2017). The fourth industrial revolution. Exmo. http://loveread.ec/contents.php?id=66348.
2. Schwab, K. (2018). Technologies of the Fourth Industrial Revolution. Exmo. http://loveread.ec/view_global.php?id=73865.
3. Christensen, K.M. (2004). The innovator's dilemma. How strong companies die because of new technologies. Alpina Business Books.
4. Rotolo, D., Hicks, D., Martin, B. (2015). *What is an emerging technology?* University of Sussex. (Version 1). https://hdl.handle.net/10779/uos.23420075.v1.
5. Küfeoğlu, S. (2022). Emerging Technologies. *Sustainable Development Goals Series.* Springer, Cham. 11-21. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07127-0_2.
6. Mariette, D., Meyerson, S.B. (2023). *Top 10 Emerging Technologies of 2023, Flagship Report, Centre for Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum. https://www.weforum.org/publications/top-10-emerging-technologies-of-2023/.
7. Armstrong, P. (2017). *Disruptive Technologies. Understand, evaluate, respond*. Kogan Page Publishers.
8. Manners-Bell, J., Lyon, K. (2022). *Logistics and supply chain innovation. A practical guide to disruptive technologies and new business model*. Kogan Page Publishers.

9. Slyusar, V.I., Sotnyk, V.V., Kupchyn, A.V. (2020). Breakthrough technologies in the defense sphere of Ukraine. Armament and military equipment, 4(28). 13-23.
10. Sotnyk, V.V., Rasstrygin, O.O., Kupchyn, A.V. (2020). Methodology of selection of critical technologies. Modern information technologies in the field of security and defense. 1(37). 67-76. http://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-37-1-67-76.
11. Matyushenko, I.Yu. (2016). Development and implementation of convergent technologies in Ukraine in the conditions of the new industrial revolution: organization of state support. FOP Alexandrova K.M.
12. Pisarenko, T., Kvasha, T., Havrys, T. (2021). Analysis of global technological trends in the military sphere. UkrINTEI. http://doi.org/10.35668/978-966-479-127-1.
13. Pisarenko, T., Kvasha, T. (2020). Global technological trends in the field of weapons and military equipment. UkrINTEI. http://doi.org/10.35668/978-966-479-117-2.
14. Reding, D.F., Eaton, J. (2020). *Science & Technology Trends 2020-2040. Exploring the S&T Edge. March, 2020. NATO Science & Technology Organization*, Office of the Chief Scientist, Brussels. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf.
15. Reding, D.F., Lucia, A.D., Blanco, A.M, Regan, L.A., Bayliss, D. (2023). *Science & Technology Trends 2023-2043. Across the Physical, Biological, and Information Domains. Overview.* 1. NATO Science & Technology Organization, Office of the Chief Scientist. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2023/3/pdf/stt23-vol1.pdf.
16. Reding, D.F., Lucia, A.D., Blanco, A.M, Regan, L.A., Bayliss, D. (2023). *Science & Technology Trends 2023-2043. Across the Physical, Biological, and Information Domains. Analysis.* 2. NATO Science & Technology Organization, Office of the Chief Scientist. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2023/3/pdf/stt23-vol2.pdf.
17. Chana, Deeph. (2020). *NATO Advisory Group on Emerging and Disruptive Technologies. Annual report.* North Atlantic Treaty Organization. www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2021/3/pdf/210303-EDT-adv-grp-annual-report-2020.pdf.
18. Chana, Deeph. (2021). *NATO Advisory Group on Emerging and Disruptive Technologies. Annual report.* North Atlantic Treaty Organization. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2022/7/pdf/220715-EDT-adv-grp-annual-report-2021.pdf.
19. *NATO Warfighting Capstone Concept.* (2023). Allied command transformation NATO'S Strategic Warfare Development Command. https://www.act.nato.int/wp-content/uploads/2023/06/NWCC-Glossy-18-MAY.pdf.
20. Keller, J. (2020, Dec. 2). *What 5G means to the military.* The Military & Aerospace Electronics. https://www.militaryaerospace.com/rf-analog/article/14188341/military-5g-communications.
21. Slyusar, V.I., Kulagin, K.K. (2019). Peculiarities of NATO's defense planning process. Science and technology of the Air Force of Ukraine. 3(36). 47-59. http://dx.doi.org/10.30748/nitps.2019.36.06.
22. *Disentangling AI, Machine Learning, and Deep Learning.* (2021, April 5). Exxact Corporation. https://www.exxactcorp.com/blog/Deep-Learning/difference-between-ai-machine-learning-and-deep-learning?gclid=Cj0KCQiA47GNBhDrARIsAKfZ2rALRgE7vtm XoqQx_-fWly40_XMl_Q-esKbaEzfx5Rbw5M2mVRwIk0QaArYaEALw_wcB.
23. Robotic and Autonomous Systems in a Military Context. (2021). Jstor.org. https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep29554.3.pdf.
24. Peterson, P. (2021, September 26). *Advanced Electric Propulsion System (AEPS) Enabling a Sustainable Return to the Lunar Surface through NASA Gateway. 74th Annual Gaseous*

Electronics Conference. NTRS – NASA Technical Reports Server https://ntrs.nasa.gov/citations/20210022011.
25. Jeffrey, C. (2022, May 4). *Here's what it looks like to get flung from a centrifuge at 1,000 mph.* Techspot. https://www.techspot.com/news/94466-here-what-looks-like-get-flung-centrifuge-1000.html.
26. *NATO's overarching Space Policy.* (2022, Jan. 17). North Atlantic Treaty Organization. https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_190862.htm.
27. Brunner, Karl-Heinz. (2021, October 10). *Space and Security – NATO'S Role. Preliminary Draft Special Report.* https://www.nato-pa.int/download-file?filename=/sites/default/files/2021-04/025%20STC%2021%20E%20-%20SPACE%20AND%20SECURITY%20-%20BRUNNER_2.pdf.
28. Tirpak, J.A. (2018, June 27). The Great Hypersonic Race. *The Great Hypersonic Race – Air Force Magazine*. https://www.airandspaceforces.com/article/the-great-hypersonic-race/.
29. Speier, R.H., Nacouzi G., Carrie Lee, and Moore, R. (2017). *Hypersonic Missile Nonproliferation: Hindering the Spread of a New Class of Weapons*. CA: RAND Corporation. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2137.html.
30. Mizokami, Kyle. (2019, Dec. 30). Russia's New Hypersonic Weapon Flies at Mach 27. *Popular Mechanics*. https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a30346798/russia-new-hypersonic-weapon-mach-27/.
31. Bernstein, P., Hancock, D. (2021, Jan. 27). China's Hypersonic Weapons. *Georgetown Journal of International Affairs*. https://gjia.georgetown.edu/2021/01/27/chinas-hypersonic-weapons/.
32. Hypersonic weapons. (2024, Feb. 20). Deep State. Vanguard.. https://deepstateua.com/hypersonic_missiles/.
33. Mizokami, K. (2022, Apr. 05). Russia Is Using Hypersonic Weapons to 'Put Fear Into the Hearts of Ukrainians. *Popular Mechanics*. https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a39600945/why-russia-is-using-hypersonic-weapons-in-ukraine/.
34. Lendon, Brad. (2024, Feb. 13). Russia used an advanced hypersonic missile for the first time in recent strike, Ukraine claims. *CNN Business.* https://edition.cnn.com/2024/02/13/europe/ukraine-russia-zircon-hypersonic-missile-intl-hnk-ml/index.htm.
35. Amerongen, M. (2021, June 03). Quantum technologies in defense and security. https://www.nato.int/docu/review/uk/articles/2021/06/03/kvantov-tehnolog-v-oboron-bezpets/index.html.
36. Krelina, M. (2021). Quantum technology for military Applications. *EPJ Quantum Technology*. https://epjquantumtechnology.springeropen.com/articles/10.1140/epjqt/s40507-021-00113-y.
37. Post-Quantum Cryptography. (2023, November 22). National Institute of Standards and Technology. Computer Security Resource Center. https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography.
38. Roblin, S. (2019, Apr. 27). No More "Stealth" Submarines: Could Quantum "Radar" Make Submarines Easy to Track (And Kill)? *The National Interest*. https://nationalinterest.org/blog/buzz/no-more-stealth-submarines-could-quantum-radar-make-submarines-easy-track-and-kill-54547.
39. Wes O'Donnel. (2019, Sept. 11). Quantum Radar a Game Changer for Offensive Stealth Operations. American Military University EDGE. https://amuedge.com/quantum-radar-a-game-changer-for-offensive-stealth-operations/.
40. Ladisch, M. (2001, June 11). *Opportunities in Biotechnology for Future Army Applications*. National Academies Press. https://doi.org/10.17226/10142.

41. The wonder material graphene may have found its killer app. (2022, May). *The Economist*. https://www.economist.com/science-and-technology/2022/05/18/the-wonder-material-graphene-may-have-found-its-killer-app.
42. Yiming, Hu. (2022, May 09). Synthesis of γ-graphyne using dynamic covalent chemistry *Nature Synthesis.* 1. 449–454. https://www.nature.com/articles/s44160-022-00068-7.
43. Young, J. (2021). *What are the most important areas in polymer research?* https://www.hindawi.com/post/what-are-most-important-areas-polymer-research/.
44. Hecht, J. (2022, Aug. 10). Nanomaterials pave the way for the next computing generation. *Nature 608.7922*. https://www.nature.com/articles/d41586-022-02147-3.
45. *Additive Manufacturing Research Group* (AMRG). (2018) The 7 categories of Additive Manufacturing, Additive Manufacturing Research Group, Loughborough University. Loughborough University. https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/.
46. Bechelany, M. (2022). Nanofabrication and Nanomanufacturing. *Nanomaterials 12*(3). https://www.researchgate.net/publication/358202961_Nanofabrication_and_Nanomanufacturing.
47. McFadden, C. (2020, June 6). Could Ultracapacitors Replace Batteries in Future Electric Vehicles? https://interestingengineering.com/science/could-ultracapacitors-replace-batteries-in-future-electric-vehicles.
48. David, E. (2023). Power Electronics Handbook by Muhammad H. Rashid. *Cosmic Journal of Phisics. 2*(1). 38-60. https://www.researchgate.net/publication/375598117_Power_Electronics_Handbook_by.
49. Barry, N., Santoso, S. (2022). Modernizing Tactical Military Microgrids to Keep Pace with the Electrification of Warfare. Military Review. https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/military-review/Archives/English/ND-22/Barry/Barry%20November-December-UA.pdf.
50. Kulagin, K.K., Solonets, O.I., Kvitkin, K.P., Vedmid, O.I., Gubareva, O.P. (2023). Impact of climate change on the safety of military operations and the life cycle of weapons and military equipment. *Systems of Arms and Military Equipment.* 2(74). https://doi.org/10.30748/soivt.2023.74.06.
51. Budget Estimates Justification Book. (2022). Defense Advanced Research Projects Agency. Department of Defense Fiscal Year. https://www.darpa.mil/attachments/U_RDTE_MJB_DARPA_PB_2023_APR_2022_FINAL.pdf.
52. *Global Directed Energy Weapons Industry*. (2022, Oct.). ReportLinker. https://www.reportlinker.com/p05798382/Global-Directed-Energy-Weapons-Industry.html?utm_source=GNW.
53. Kelley, M., Feickert, A., O'Rourke, R. (2023, August 22). Background and Issues for Congress. https://sgp.fas.org/crs/weapons/R46925.pdf.
54. Hoffman, R. (2021). High Power Microwaves High Power Microwave (HPM) 6.1 Programs. NVAL Science & Technology. https://www.nre.navy.mil/media/document/directed-energy-weapons-dew-high-power-microwave-hpm-61-programs-fy21-annual-report.
55. Klontsak, M.Ya., Kamalov, E.V., Stetsyura, I.R. (2022). Prospects for equipping the Armed Forces of Ukraine with directed energy weapons. *Collection of scientific works of the Center for Military and Strategic Studies of the National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky*. 3(76). http://znp-cvsd.nuou.org.ua/article/view/274787/269951.
56. *From the laboratory to commercialization: the path of science-intensive products through the levels of technological readiness. Innovative cases*. (2023, September 10). NEF (New Economy

of Ivano-Frankivsk). https://neweconomy.if.ua/innovations/innovation-cases/z-laboratoriyi-do-komerczializacziyi-shlyah-naukoyemnyh-produktiv-kriz-rivni-tehnologichnoyi-gotovnosti/.

Implementation of the emerging and disruptive technologies as the key to technological superiority in modern warfare

Kulahin Kostiantyn
PhD in engineering, senior researcher
senior researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
61023, Sumska Street, 77/79, Kharkiv, Ukraine
e-mail: k.kulagin@ukr.net
ORCID:0000-0003-1189-5623

Ivan Nos
PhD in engineering
head of scientific research department
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
61023, Sumska Street, 77/79, Kharkiv, Ukraine
e-mail: 171a16@gmail.com
ORCID:0000-0003-1501-0503

Oleksiy Solonets
PhD in engineering, senior researcher
leading researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
61023, Sumska Street, 77/79, Kharkiv, Ukraine
e-mail: alex_solonez@ukr.net
ORCID:0000-0001-6223-5022

Kostiantyn Kvitkin
researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
61023, Sumska Street, 77/79, Kharkiv, Ukraine
e-mail: kosta_kit@ukr.net
ORCID:0000-0002-8330-5023

Abstract. The relevance of article is due to the fact that in the conditions of confrontation between countries different in terms of resources, strength of the army and number of weapons, military superiority over the enemy are achieved by using asymmetric and hybrid actions whith using innovative high-tech weapons and C4ISR. The search for innovative approaches to the management of troops, new methods of using both traditional types of weapons and new ones created on unconventional physical principles, the introduction of the emerging technologies is an urgent need for the development of the Ukraine defense capabilities - the key to technological superiority in modern warfare. Today, most of the developed countries pay considerable attention to scientific research on the emerging and disruptive technologies, strive to maintain advantages in this field.

Based on this, the research of promising scientific and technical trends and determining the potential of their application in military affairs is an important scientific and practical tasks that must be solved. The leading approach to solving this problematic issue is the use of the results of the analysis of scientific publications, reports of leading international security institutions, the use of statistical methods of scientometric and patent analysis, as well as the assessment of the level of attention or expectations. The article presents the results of a systematic analysis of existing technological trends, the most significant new and breakthrough technologies, as well as an assessment of their impact on the sphere of security and defense. A certain author's view on the possibilities of using such technologies is offered. The materials of the article are of practical significance for specialists who are responsible for the formation of directions of scientific and scientific-technical activity, the introduction of innovations and the emerging technologies in the activities of the defense-industrial complex.

Keywords: innovation, emerging and disruptive technologies, artificial intelligence, robotic and autonomous systems, novel materials, defense capabilities